بیوفیزیک

نیره جوادی
وجیهه قدمگاهی

بسم الله الرحمن الرحیم

بیوفیزیک

ویراستار علمی
دکتر بهروز عشقی ملایری
علیرضا عبدی کیان

تألیف و تدوین
نیره جوادی
وجیهه قدمگاهی

زمستان ۱۳۸۲

QH	جوادی، نیره، ۱۳۵۸
۵۰۵	بیوفیزیک/ تألیف نیره جوادی، وجیهه قدمگاهی .ــ همدان:
۹ب۹ج/	انتشارات مصفای الوند، ۱۳۸۲.
۱۳۸۲	۲۵٤ ص.: مصور. شابک : ۰-٥-٩٤٥٥٤- ٩٦٤
	۱. فیزیک زیستی. الف. قدمگاهی ، وجیهه ، ۱۳۵۷ ــ
	ب. عنوان
	٥٧٤/١٩١

عنوان: بیو فیزیک

تالیف: نیره جوادی – وجیهه قدمگاهی

ویراستار علمی: دکتر بهروز عشقی ملایری – علیرضا عبدی کیان

ناشر: مصفای الوند

لیتوگرافی: سایان

چاپخانه: نینوا

نوبت چاپ: اول

تیراژ: ۱۵۰۰

صفحه و قطع: ۲۵۴- وزیری

تاریخ انتشار: زمستان ۸۲

قیمت: ۱۵۰۰۰ ریال

شابک: ۹۶۴-۹۴۵۵۴-۵-۰

مرکز فروش :

همدان- خیابان مهدیه روبروی بانک ملی ایران – انتشارات فن آوران

همدان- خیابان شهید حسین فهمیده روبروی پارک مردم فروشگاه کتاب اداره انتشارات

نمایندگی ها در تهران:

۱- موسسه کتابیران – میدان انقلاب – خیابان لبافی نژاد غربی (بعد از چهار راه کارگر) ۲- نوپردازان – میدان انقلاب، خیابان شهدای ژاندارمری،بین فروردین و فخر رازی، پلاک ۲۰٤ تلفن: ٦٤١١١٧٣-٦٤٩٤٤٠٩

تقدیم به:

محضر مبارک یکتا بازمانده از حجتهای خدا مهدی فاطمه (عج)

به امید ظهور آن مهر تابان

و تقدیم به:

مادر عزیز و پدر بزرگوارمان. آنها که با تلاش و کوشش خستگی ناپذیر خویش راه سعادت را بر ما هموار نمودند و چگونه گام نهادن در این طریق را بر ما آموختند.

خداوندا! نگهدارشان باش از هر گزند و آسیبی

دل گرچه در این بادیه بسیار شتافت

یک موی ندانست ولی موی شکافت

اندر دل من هزار خورشید بتافت

وآخر به کمال ذره ای راه نیافت

((بوعلی سینا))

پیشگفتار

سپاس پرودگار متعال را که توفیق کسب علم و دانش را به انسان عنایت فرمود تا در دنیای مجهولات همچون مشعلی روشنگر راهشان باشد. ما نیز با توفیق خداوند منّان قدم در راهی گذاشته ایم که هر چند طی طریق از آن دشوار است اما گواراتر و لذت بخش تر از آن در این دنیا به چشم خویش ندیده ایم و آن راهی نیست جز راه علم و معرفت.

بیو فیزیک علمی است که در آن ارتباط مطالب فیزیکی با فرایندهای زیستی مورد توجه قرار می گیرد و این کتاب برای آن دسته از دانشجویان و علاقه مندانی است که می خواهند در این زمینه مطالعاتی داشته باشند. البته کتب متعددی در این زمینه به زبانهای زنده دنیا منتشر شده است و در مجموعه انتشارات دانشگاهی کشور نیز چندین کتاب در این رابطه وجود دارد که بیشتر، گرایش به فیزیک پزشکی دارند و یا شرح مباحث فیزیکی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به کمبود منابع فارسی، تلاش شده است با استفاده از کتب تخصصی رشته های مختلف علمی، پایان نامه ها، تحقیقات و سمینارهای علمی، مجله و کتب انگلیسی برای رفع این کمبود آموزشی اقدام گردد.

کتاب حاضر شامل ده فصل می باشد که در تنظیم مطالب آن، سر فصلهای تعیین شده از سوی شورای انقلاب فرهنگی مبنای کار قرار گرفته است. در فصلهای نخست این کتاب، دستگاهها

و راههای شناسایی ماکرومولکولها مورد بررسی قرار گرفته است و در ادامه به مباحثی مانند کشش سطحی، چگونگی انتقال مواد، راههای تبدیل انرژی، پرتوها، فرایندهای بینایی، صوت و حرکت اشاره شده است. امید است این کتاب مورد استفاده علاقه مندان به این رشته قرار گیرد.
این مجموعه بدون شک عاری از ایراد و نقص نخواهد بود. لذا از کلیه خوانندگان محترم اعم از اساتید ارجمند، دانشجویان عزیز و سایر علاقه مندان خواهانیم از پیشنهادات و نظریات سازنده خویش در جهت پر بار تر شدن این مجموعه دریغ نورزند و اگر در این بین به اشکالی برخوردند و یا کمبود مطلبی را احساس نمودند ما را در جریان قرار دهند . شاید راهی بهتر، شناسایی و مسیری نرفته پیموده شود.

از تمامی عزیزانی که به هر نحوی ما را در تألیف ، تدوین ، چاپ و انتشار یاری نمودند به ویژه از جناب آقای دکتر بهروز عشقی ملایری که این کتاب به پیشنهاد ایشان به رشته تحریر در آمد و ویراستاری بخش بیولوژی آن را نیز برعهده داشتند همچنین از جناب آقای علیرضا عبدی کیان که ویراستار بخش فیزیکی بودند صمیمانه سپاسگذاریم. لازم است از خانمها صائب نجار و مینایی جلیل- در بخش کتابخانهٔ دانشکده علوم دانشگاه بوعلی سینا، جناب آقای یدالهی فر- انتشارات مصفای الوند، جناب آقای محمدی – ناظر چاپ، جناب آقای جواد حاتمیان- طراح جلد و صفحه بندی، نشر میم و چاپخانه نینوا کمال تشکر و قدردانی را داریم و از خداوند بزرگ سلامت، سعادت و توفیق روزافزون برایشان خواستاریم.
در پایان معترفیم که با وجود تلاشهای انجام شده، هنوز در ابتدای راهیم. اما از خداوند سبحان مسئلت داریم که این حرکت تا رسیدن به وضع مطلوب و متن درسی مقبول ادامه یابد.

«مؤلفین»

فصل اول : میکروسکوپ الکترونی

فصل دوم :اشعه ایکس

فصل سوم : ماکرومولکولها

فصل چهارم: کشش سطحی

فصل پنجم :غشاء مصنوعی

فصل ششم :بیو انرژی

فصل هفتم : پرتو ها

فصل هشتم : عدسی و بینایی

فصل نهم : صوت

فصل دهم : بیو مکانیک

میکروسکوپ الکترونی



مقدمه

بررسی و کشف قوانین فیزیکی حاکم بر عالم حیات مستلزم تفکیک عناصر در ساختمان سلول به عنوان کوچکترین و اساسی ترین واحد حیات می باشد. رابرت هوک اولین کسی بود که موفق به مشاهده ساختارهای سلولی گشت. اگر چه اختراع میکروسکوپ های مختلف نقش مؤثری در بزرگنمایی بافت های مورد مطالعه و کشفیات عمده ای در زیست شناسی سلولی داشت ولی در مقیاس هاس بسیار کوچک اندامک های سلولی، بزرگنمایی به تنهایی کفایت نمی کرد، می بایست اجزاء مقادیر تشکیل شده برای چشم انسان قابل تفکیک باشد.

درشتنمایی

نسبت اندازه تصویر به اندازه جسم را درشتنمایی هر سیستم نوری گویند. برای میکروسکوپ سه نوع درشتنمایی تجارتی، درشت نمایی مفید و درشت نمایی مخصوص وجود دارد.

۱-درشتنمایی تجارتی: عبارت است از حاصلضرب درشتنمایی ابژکتیو[1] در اکولر[2] و لوله میکروسکوپ که به صورت زیر محاسبه می شود.

$$GM = G_{ob} \times G_{oc} \times G_{T}$$

۲- درشتنمایی مفید: از حاصلضرب شماره مدخل (NA) ابژکتیو در هزار به دست می آید.

$$GM = NA \times 1000$$

۳- درشتنمایی مخصوص: از تقسیم عدد ۲۵۰ mm که فاصله متوسط رؤیت واضح با چشم است به فاصله کانونی ابژکتیو محاسبه می شود. $GM = \frac{250mm}{fobmm}$

قدرت تفکیک

کوچکترین فاصله قابل تشخیص بین دو نقطه واقع بر یک سطح را که به وسیله یک سیستم نوری، قابل رؤیت باشد توان تفکیک آن دستگاه گویند. هر چه مقدار عددی توان

۱- ابژکتیو مهمترین بخش نوری هر میکروسکوپ است که از تعدادی عدسی تشکیل شده است تعداد این عدسیها ۴ ، ۸ و گاه به ۱۶ می رسد که پشت سر هم و با رعایت قوانین فیزیکی قرار گرفته و با هم ترکیب شده اند. عمل کلی ابژکتیو تشکیل اولین تصویر از جسم است این تصویر بزرگتر از جسم ، معکوس و حقیقی می باشد.

۲- اکولر از تعدادی عدسی محدب یا دو کوژ ساخته شده است که در مجموع کار یک ذره بین را انجام می دهد. اکولر از تصویر ایجاد شده به وسیله ابژکتیو ، تصویری مجازی ، مستقیم ، (معکوس نسبت به نمونه) و بزرگتر درست می کند.

تفکیک کمتر (کوچکتر) باشد قدرت تشخیص دستگاه نوری بیشتر (بهتر) است. مثلا توان تفکیک دستگاهی که دو نقطه با فاصله ۱۰۰٪ را از هم تشخیص می دهد از توان تفکیک دستگاهی که فاصله ۲۰۰٪ را به عنوان کوچکترین فاصله دو نقطه تشخیص می دهد بیشتر است.

با استفاده از معادله آبه توان تفکیک وسایل نوری، حتی چشم را می توان محاسبه نمود.

$$\sum = \frac{0/61\lambda}{nSin\alpha} = \frac{0/61\lambda}{NA} \qquad ۱-۱$$

در رابطه فوق ، $\sum$، قدر مطلق توان تفکیک، عدد ۶۱٪ مقدار ثابت محاسبه شده رابطه، λ، طول موج نور (رنگ یا طیف) به کار گرفته شده برای رؤیت حجم است.

برای محاسبه NA از رابطه:

$$NA = nSin\alpha \qquad ۱-۲$$

استفاده می شود. در این رابطه، n، ضریب شکست محیط شفاف حد فاصل بین جسم و اولین عدسی ابژکتیو را ،که می تواند هوا یا مایع باشد محیط شفاف می نامند است.

α نیم زاویه مخروط روشنایی یا نیم زاویه مدخل گشودگی است

---

۱ - شماره مدخل ، زاویه گشودگی یا میزان کارایی ابژکتیو :

مقدار N.A یا $n\ \sin\alpha$ را شماره مدخل یا میزان کارایی ابژکتیو می نامند. در رابطه $N.A = n \sin\alpha$، n ضریب شکست محیط شفاف است که به جنس محیط واقع بین جسم و ابژکتیو بستگی دارد. α، نیم زاویه مخروط روشنایی است مجموعه پرتوهای پراش یافته و نیز پرتوهایی که مستقیما از جسم می گذرد و وارد ابژکتیو می شوند مخروط روشنایی را به وجود می آورند. همانطور که شکل نشان می دهد، از پرتوهای رسیده از جسم تنها بخش کوچکی که سازنده مخروط روشنایی است وارد ابژکتیو می شوند. زاویه رأس مخروط روشنایی را با 2α نشان می دهد.

α یا sin آن بعنوان یکی از شاخصهای کارایی هر ابژکتیو در نظر گرفته می شود. در مثلث قائم الزاویه ABC، $\sin\alpha = \frac{BC}{AC}$ است. یعنی α با شعاع عدسی ابژکتیو و بنابراین با قطر آن CD نسبت مستقیم دارد.



درشتنمایی ابژکتیو با فاصلهٔ کانونی آن نسبت عکس دارد بنابراین هر چه درشتنمایی بیشتر شود، فاصله ابژکتیو با جسم کدر کم می شود، مخروط روشنایی کوتاه می گردد و با 2α به 180° نزدیک می شود. اما هرگز در رؤیت واضح، ابژکتیو با جسم ←

کاهش مقدار عددی از قدر مطلق $\sum$ می تواند موجب بهبود یا اصطلاحاً افزایش توان تفکیک میکروسکوپ شود. برای کم کردن مقدار $\sum$، دو راه وجود دارد: یا λ (صورت کسر) کاهش یابد یعنی از طول موجهای کوتاهتراستفاده شود و یا $NA = n \ Sin\alpha$ (مخرج کسر) بزرگ شود .امکان بزرگ کردن $N.A$ و به عبارت دیگر میزان تغییرات آن محدود و نزدیک به ۱/۶ – ۰/۹است.به همین دلیل عملاً راه اصلی کاهش $\sum$ و دستیابی به توان تفکیک بهتر، به کارگیری طول موج های کوتاهتر ، مثلاً پرتوهای بنفش یا فرابنفش است.

مقایسهٔ بزرگنمایی و قدرت تفکیک در میکروسکوپ های نوری و الکترونی

قدرت تفکیک هم در میکروسکوپ نوری و هم در میکروسکوپ الکترونی، رابطهٔ مستقیمی با طول موج نور یا پرتو الکترونی دارد که به جسم تابیده می شود.

تاکنون برای افزایش قدرت دید، به بزرگنمایی اپتیک متوسل شده اند ولی با بهترین میکروسکوپ ها نمی توان از حداکثر بزرگنمایی حدود ۳۰۰۰ تجاوز کرد. در صورتی که با میکروسکوپ های TEM تا ۲۰۰۰۰۰ و EMهای جدید بیشتر از آن هم می توان مشاهده کرد. و از آنجایی که تصویر به وسیلهٔ سیستم عکاسی بین ۱۰-۵ برابر قابل بزرگ کردن است پس درشتنمایی غیر مستقیم (نهایی) در EMبه طور معمول حداقل به ۱۰۰۰۰۰۰ می رسد.

مماس نمی شود . اگر به فرض ابژکتیو با جسم مماس باشد ، $2\alpha = 180^0$ و $\alpha = 90^0$ و $Sin\alpha = 1$ خواهد شد. بنابراین از نظر تئوری (نه در جریان رؤیت میکروسکوپی) حداکثر مقدار $Sin\alpha = 1$ خواهد بود . با این توضیحات ، تغییرات مقدار $Sin\alpha$ نیز چندان وسیع نیست و در رابطهٔ $nSin\alpha = NA$، حداکثر مقدار ممکن NA، $1/6 \times 1 = 1/6$ خواهد بود.

در قسمت [illegible] علاوه بر طول موج نور تابیده شده، فاکتور دیگری به نام عدد شکاف یا [illegible][1] نیز [illegible]

[illegible]

[illegible]

جرم الکترون در سرعت [illegible] فرمول [illegible]
حاصل برای اشعهٔ الکترونی برابر است با $\lambda = 0.044$ [illegible]

میکروسکوپ الکترونی

در سال ۱۹۲۴ دوبرگلی[2] مشخص کرد که پرتوهای الکترونی طول موج بسیار کوتاهی حدود $\lambda = ۰/۰۰۵\ A^0$ دارند. در سال بعد بوش به این نتیجه رسید که یک میدان الکتریکی مغناطیسی مناسب، پرتوهای الکترونی را در کانون متمرکز می‌کند. از اینجا بود که تجسم ایجاد میکروسکوپ الکترونی‌ممکن گردید. میکروسکوپ‌الکترونی‌در مقایسه با میکروسکوپ های نوری از اجزاء زیر تشکیل شده است.

---

1 - NA : Numerical Aperature
2 - Debroglie

در میکروسکوپ الکترونی منبع پرتوها، رشته ای از تنگستن ملتهب شده به وسیله جریان الکتریکی است، در حالی که در میکروسکوپ نوری پرتوها از یک منبع نوری منتشر می‌شوند. الکترونهای رها شده از تنگستن تهییج شده را به صورت یک دسته الکترونی و با استفاده از الکترودها به طرف نمونه مورد مطالعه شتاب می‌دهند ، جهت جلوگیری از انحراف الکترونها در برخورد با ذرات موجود در هوا، در مسیر عبور الکترونها در لوله میکروسکوپ خلاء برقرار می‌شود (زیرا حجم الکترونها ناچیز است).

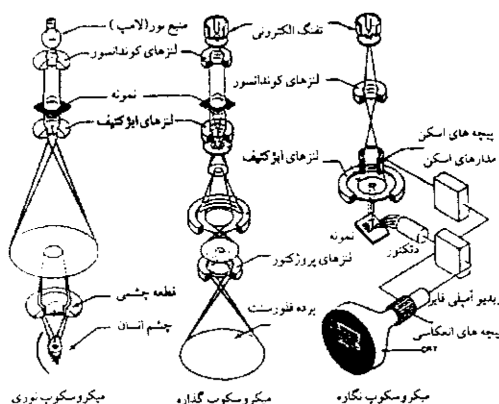
این الکترونها توسط فیلامان فلزی(کاتد) ودر خلاءتولید می‌شود و در یک اختلاف پتانسیل خیلی بالا که بین کاتد و آند جریان پیدا می‌کند به سمت آند جریان می‌یابد. در وسط آند، منفذی است که تعدادی از الکترونها از آن عبور می‌کنند. این الکترونها با روش مشابه میکروسکوپ نوری ولی با استفاده از عدسی‌های الکترونی، متمرکز شده و پس از تقویت، روی صفحه شیئی تابانیده می‌شود.

تصاویر به دست آمده، توسط تعداد دیگری عدسی تقویت می‌شود و در نهایت به یک صفحه فلوئورسانس یا صفحه عکاسی برخورد می‌کند و به صورت قابل رؤیت در می‌آید. عدسیهای کندانسور، ابژ کتیوها و پروژکتورها به جای عدسی شیشه ای، از نوع بوبین الکترومغناطیسی بسیار دقیقی هستند که همانند عدسی‌های همگرا در میکروسکوپهای نوری عمل می‌کنند. روسکا[1] و نول[2] در سال ۱۹۳۱ با استفاده از پرتوهای الکترونی با طول موج کوتاه، به جای پرتوهای نوری، تهیه و به کار گیری بوبین های القایی دقیق به جای عدسی‌های شیشه ای، تأمین خلاء قوی در لوله میکروسکوپ جهت عبور الکترونها، به کار گیری اختلاف پتانسیل‌های زیاد

1 – Ruska
2 – knol

بین آند و کاتد برای پرتاب الکترونها به مقدار کافی از رشته تنگستن و ایجاد شتاب حرکتی زیاد آنها، در برلین اولین میکروسکوپ الکترونی را ساختند. سپس با مرور زمان میکروسکوپ‌های الکترونی، متنوع و تکمیل شد و هم اکنون انواع مختلف و بسیار پیشرفته ای از آنها وجود دارد.

با بهبود فنون تثبیت سلولها، برش گیری از نمونه های اشباع شده از رزینها مثل اپوکسی، ابداع اولترامیکروتوم برای تهیه برشهای بسیار نازک به وسیله پورتر- بلوم[1] ، امکانات وسیعی برای بررسی دقیق ساختمان سلولها، اندامکها و اجزای ساختمانی به دست آمد.



شکل ۱-۱ مقایسه مسیر نوری و الکترونی در میکروسکوپ های نوری، TEM و SEM

در میکروسکوپ الکترونی هنگام برخورد الکترونها به مقطع، انحرافی ایجاد می‌شود که ضخامت مقطع باعث تشدید این پراگندگی می گردد. پراکندگی الکترونها چون همراه با از دست دادن انرژی می‌باشد، در ستون میکروسکوپ، الکترونهایی با انرژی کم و در نتیجه طول موج زیاد پدیدار می‌شود که تشکیل تصویر واضح را مختل می‌سازد.

1- Porter - Blum

از این جهت ضخامت یک مقطع برای موارد ارگانیک نباید از A^{0} ۱۰۰۰ تجاوز نماید.

از طرف دیگر قطعات بافتی تحت تأثیر خلاء شدید قرار گرفته و کاملاً خشک می‌گردد. این نقص با کمک تکنیکهایی بر طرف می‌گردد. اما مشکل مشاهده با میکروسکوپ الکترونی، مطالعه زنده ارگانیسم می‌باشد. به طور کلی میکروسکوپ‌های الکترونی سه مزیت قابل ملاحظه نسبت به میکروسکوپ نوری دارند که عبارتند از:

۱ـ عمق میدان دید بالا

۲ـ بزرگنمایی بسیار بالا

۳ـ توان تفکیک بسیار عالی

یکی از کاربردهای رایج میکروسکوپ‌های الکترونی به ویژه میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) آنالیز کردن مواد است.

در آنالیز به روش اشعه X پرتو الکترونی در برخورد با یک اتم، الکترونهای لایه درونی آن را تحریک و به لایه یا مدار خارجی تر پرتاب می‌کند. این وضعیت ناپایدار بوده و الکترون در بازگشت به جایگاه اولیه خود مقداری انرژی آزاد می‌کند که از نوع اشعه ایکس است.

مقدار اشعه ایکس آزاد شده برای هر اتم (عنصر) عددی ثابت است و میکروسکوپ‌های امروزی به وسیله کامپیوتر همراه خود، نوع مواد نمونه مورد مطالعه ومقدار کمی مواد را محاسبه و نشان می‌دهد. از کاربردهای دیگر میکروسکوپ‌های الکترونی جراحی‌های میکروسکوپی[1] می باشد. بدین صورت که گاهی لازم است بر روی سلولها اعمال جراحی از قبیل خارج کردن هسته، پیوند یک هسته جدید و یا حذف برخی از اندامکها مثلاً میتوکندری

1- Micromanipulation

صورت گیرد. برای این کار ابزارهای بسیار ظریفی نیاز است که از جنس شیشه می باشد. این ابزارها بر روی بازوهای مخصوص میکروسکوپ سوار شده و به کمک پیچهای ماکرومتر و میکرومتر به حرکت در می آید. در نتیجه می‌توان بر روی سلول در حال مشاهده ، اعمال جراحی خاصی انجام داد.

انواع میکروسکوپ الکترونی

- میکروسکوپ الکترونی گذاره[1](TEM)
- میکروسکوپ الکترونی نگاره[2] (SEM)

میکروسکوپ الکترونی گذاره (TEM)

این میکروسکوپ دارای لوله یا ستون محکمی است که در قسمت بالای آن محفظه ای به اسم اطاق الکترون قرار دارد. در قسمت بالای اطاق الکترون یک رشته مقاوم از تنگستن به اسم کاتد روی پایه ای عایق سوار شده است. در مقابل کاتد، آند به صورت صفحه بشقاب مانندی آغشته به املاح پتاسیم قرار دارد. بین کاتد و آند اختلاف پتانسیلی بین ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ ولت برقرار می‌شود. با این اختلاف پتانسیل الکترونها با شتاب زیادی از کاتد پرتاب شده و از سوراخ آند که در حکم دیافراگم بوده و قابل تنظیم می‌باشد عبور می‌کند و به صورت یک دسته الکترونی به درون لوله میکروسکوپ فرستاده می‌شوند و به مقابل کندانسور

---

1 – Transmission Electron Microscope
2 - Scanning Electron Microscope

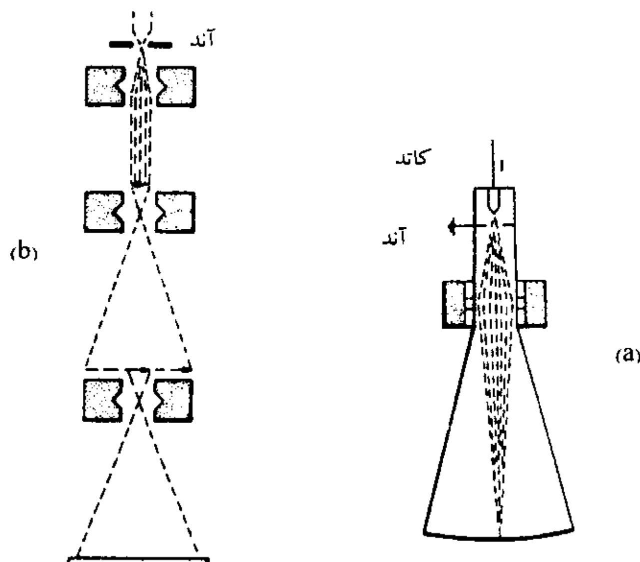
- در میکروسکوپ های الکترونی برای به دست آوردن درشتنمایی بالا عدسی هایی با فاصله کانونی کم مورد نیاز است. با افزایش میدان مغناطیسی کم می شود. میدان مغناطیسی را می توان با افزایش جریان عبور یافته از سیم پیچ افزایش داد.

می‌رسند. الکترونهای کانونی شده به وسیله کندانسور در لوله میکروسکوپ با شتاب زیاد به جسم یا نمونه می‌رسد. نمونه اساساً برشهای بسیار نازک سلولهایی است که از ترکیب رزینی اشباع شده اند و بر روی صفحات مشبک و کوچک فلزی (مس یا طلا) به اسم گرید[1] قرار گرفته است. در برخورد دسته الکترونی با نمونه بخشی از الکترونها، پراش یافته، از مسیر خارج می‌شوند و برخی از آنها به پرتوایکس تغییر ماهیت می‌دهند، اما چون برش نازک است و الکترونها در خلاء درون لوله با شتاب زیادی به جسم می‌رسند. برخی از الکترونها از جسم می گذرند که الکترونهای گذرنده نامیده می‌شوند. این الکترونها در نهایت، و پس از عبور از عدسی‌های الکترومغناطیسی به نام ابژکتیو و پروژکتور، روی یک صفحه از جنس پلاتینوسیانور باریم یا سولفید روی می‌تابند و آن را به حالت فلوئورسانس در آورده و به این ترتیب از جسم، تصویر قابل رؤیت می‌دهد. از آنجا که الکترونهای گذرنده از جسم عامل تشکیل تصویر می‌باشند این نوع میکروسکوپ را میکروسکوپ الکترونی گذاره می‌نامند.

میکروسکوپ گذاره درشتنمایی هایی از ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ برابر را میسر می‌سازد که از راه بزرگ کردن تصویر می‌توان به درشتنمایی‌هایی تا ۵۰۰۰۰۰ برابر دست یافت. توان تفکیک میکروسکوپ الکترونی گذاره A° ۴-۲ است. یکی از مسائل عمده در مشاهده نمونه ها با میکروسکوپ الکترونی گذاره، تهیه برشهای بسیار نازک است که عده ای از الکترونها می‌توانند از آن عبور کنند. این کار طولانی و پر هزینه است و نیاز به دقت زیادی دارد. از طرفی چون تهیه برشها به تثبیت قبلی نمونه ها ، آبگیری از آنها و اشباع سازیشان از رزین نیاز دارند، مشاهده نمونه های زنده با این میکروسکوپ امکان پذیر نیست . همچنین شرایط خلاء

1 - gride

درون لوله میکروسکوپ و گرمای بسیار زیاد ناشی از برخورد الکترونها با نمونه ها از عواملی هستند که امکان مشاهده نمونه های زنده با میکروسکوپ گذاره را منتفی می‌سازد.[۱]



شکل ۲-۱ میکروسکوپ الکترونی گذاره (TEM). استفاده از عدسی مغناطیسی برای متمرکز کردن دستجات الکترونی روی صفحه فلورسانس(a). و مسیر الکترون در میکروسکوپ الکترونی(b).

میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM)

میکروسکوپ نگاره پس از میکروسکوپ الکترونی گذاره‌ساخته شده است که جهت بررسی‌های ریخت شناختی دقیق ، مطالعه تزئینات سطوح نمونه‌ها با قدرت تشخیص زیاد به کار می‌رود و ساختمانی شبیه گذاره دارد ، در حالی که تنها تفاوت اساسی آن با میکروسکوپ گذاره در این است که در میکروسکوپ نگاره به جای الکترونهای گذرنده از

---

۱ - اجزای تشکیل دهنده میکروسکوپ گذاره: تفنگ الکترونی، لنزهای کندانسور، نمونه، لنزهای ابژکتیو، لنزهای پروژکتور و پرده فلورسنت.

ـ کاتد عبارت است از یک فیلامان که معمولاً از سیمی از جنس تنگستن به ضخامت صد میکرون انتخاب می‌شود. از فیلامان جریان مناسبی که توسط یک منبع تغذیه چندولتی تأمین می‌شود، عبور داده می‌شود.←

جسم که انرژی زیادی دارند در تشکیل تصویر از الکترونهای پراش یافته از سطح جسم ونیز الکترونهایی که در اثر تابش دسته الکترونهای اولیه و تحریک سطح نمونه، از سطح نمونه رها و پرتاب می‌شود، به نام الکترونهای ثانویه نامیده می‌شوند، استفاده می گردد.

تفاوت دیگر میکروسکوپ نگاره با میکروسکوپ گذاره آن است که تصویر در گذاره برروی صفحه فلوئورسان تشکیل می‌شود. در حالی که در میکروسکوپ نگاره تصویر روی صفحه تلویزیون تشکیل می‌شود.

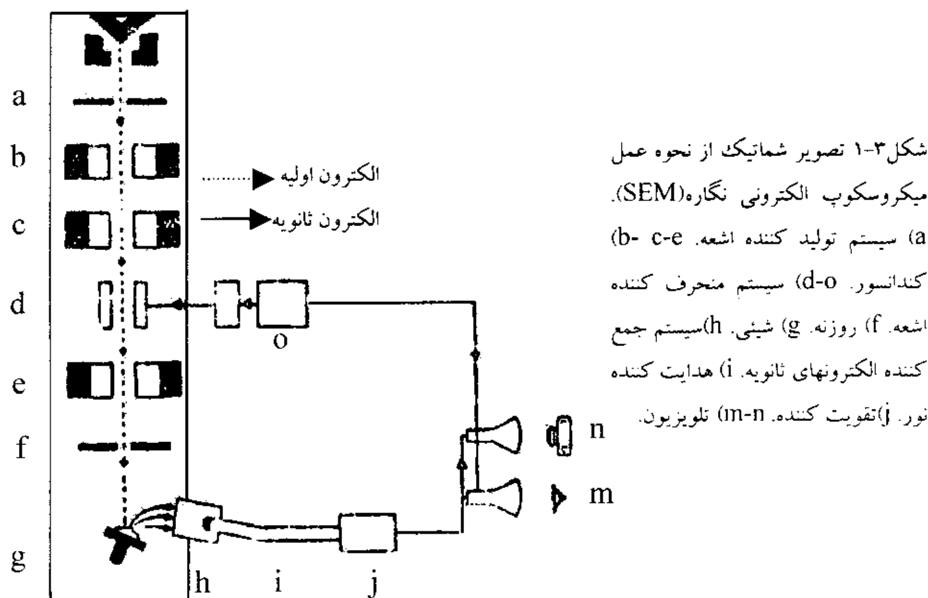
میکروسکوپ نگاره با اختلاف پتانسیل کمتری نسبت به گذاره کار می‌کند. در نتیجه قدرت تشخیص آن A° ۳۰-۱۵ می‌باشد . در میکروسکوپ نگاره الکترونهای ثانویه و نیز الکترونهای پراش یافته در اثر برخورد الکترونهای اولیه به جسم به وسیله دتکتور[1] جذب می‌شوند و ایجاد نور یا فوتون می‌کنند. این انرژی نورانی به نوعی، تبدیل به جریان الکتریکی می‌شود که به وسیله تقویت کننده (آمپلی فایر) تقویت و سپس وارد یک یا دو لامپ تلویزیونی یا کاتدی(CRT) شده و تصویر نهایی را می‌سازد. از آنجا که الکترونها سطح نمونه را مرتباً جارو می‌کنند نام این میکروسکوپ از این عمل گرفته شده است[2].

ـ از میکروسکوپ الکترونی گذاره جهت مشاهده ساختمان درونی سلولها استفاده می‌شود.

1 - Detector

۲- در میکروسکوپ نگاره نمونه مورد مطالعه را ابتدا با لایه نازکی از فلز که اغلب آلیاژی از طلا و پلاتین است پوشش می‌دهند. این پوشش فلزی که ضخامت یک نانومتر دارد در پراش دادن الکترونهایی که به سطح نمونه برخورد می‌کند و در ایجاد تعداد بیشتری از الکترونهای ثانویه نقش دارد. باید توجه داشت که ضخامت لایه فلزی بر روی حداکثر قدرت تفکیک قابل دستیابی تأثیر مستقیم دارد.

ـ میکروسکوپ نگاره جهت مشاهده تصویر سه بعدی سطحی نمونه به کار می‌رود.



شکل۳-۱ تصویر شماتیک از نحوه عمل میکروسکوپ الکترونی نگاره(SEM). a) سیستم تولید کننده اشعه. b- c-e) کندانسور. d-o) سیستم منحرف کننده اشعه. f) روزنه. g) شیئی. h)سیستم جمع کننده الکترونهای ثانویه. i) هدایت کننده نور. j)تقویت کننده. m-n) تلویزیون.

دستگاه نمایش اسیلوسکوپ یا صفحه تلویزیونی (T.V)

دستگاهی که برای نمایش نگاره به کار می رود اسیلوسکوپ یا CRT[1] است که شکلهای گوناگون دارد. چگونگی کار همه CRT ها یکسان است. همانطور که در شکل ۵-۱ دیده می‌شود، اسیلوسکوپ یک لوله خلاء است که اختلاف پتانسیل زیادی بین کاتد و آند آن برقرار است. الکترونها از تفنگ الکترونی با پدیده ترمویونیک به وجودمی‌آیند.

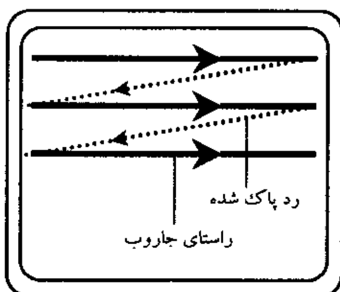
یک کلاهک کانونی کننده، این الکترونها را به صورت یک باریکه در می آورد. رویهٔ درونی صفحه نمایش با یک ماده فلورسانت پوشیده شده است. هر چه شدت الکترونهای باریکه بیشتر شود، شدت درخشانی صفحه بیشتر می‌شود. باریکه پرتو الکترونی بوسیله پیچه های انحراف دهنده در همهٔ سطح صفحه به وسیله یک حرکت جاروبی پر سرعت چپ به راست، جابجا

1 - Cathod Ray Tube

می شوند. در حقیقت پرتو الکترونی با شدت متغیر ، حرکت را از گوشه بالایی چپ آغاز و به گوشه بالایی راست پایان می‌دهد و یک رد[1] نورانی را با شدت متغیر بر جا می گذارد. این رد نورانی رد فعال نام دارد.

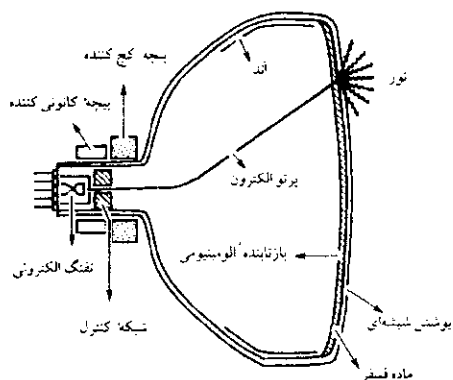
دسته الکترونی پس از آن بیرنگ و یا خاموش می‌شود و دوباره به گوشه چپ اندکی پایین تر بر می گردد وحرکت تکرار می‌شود. این کار تا رسیدن الکترون به پایین صفحه ادامه دارد. تکرار جاروب شدن کامل صفحه نزدیک به ۵۰ بار در ثانیه است و چشم آن را پیوسته می‌بیند. استاندارد تلویزیونها ۵۲۵ رد فعال در هر صفحه است. برای نمایش بازتابشهای موجود در حافظه، برداشتن داده ها از حافظه با حرکت جاروبی الکترونها روی صفحه تلویزیونی هم زمان می شود.

هر دامنه با سطح درخشانی متفاوت به نمایش در می آید و این کار با هماهنگی روش پردازش انجام می‌شود. بنابراین یک نقطه پر نور روی صفحه به وجود می‌آورد و برای ساخت نگاره، باریکه الکترون، گروه بسیار بزرگی از نقطه ها را که دارای روشنایی‌های متفاوتی هستند، روی صفحه تلویزیون می‌نشاند. این کار با رعایت درجه های خاکستری انجام می‌شود. شماره هایی که از حافظه خوانده می‌شود به دسته پرتوالکترونی دیکته می کند که آیا یک نقطه پررنگ یا کمرنگ در هر یک از جایگاه ها جا دهد.



شکل ۴-۱ چگونگی جاروب صفحه لولهٔ کاتدی به وسیله دستهٔ الکترونها

1 - trace



شکل ۵-۱ یک لولهٔ پرتو کاغذی

عدسیهای مغناطیسی

همانطورکه اشعه نور معمولی در میکروسکوپ نوری توسط عدسی‌های شیشه ای منحرف می‌گردد، جریان الکترونها در میکروسکوپ الکترونی نیز به وسیله میدانهای مغناطیسی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. حوزه‌های مغناطیسی چرخنده و متقارن را می‌توان به بهترین شکل با کمک یک سیم پیچ که جریان برق پیوسته ای از آن می‌گذرد به وجود آورد. این حوزه مغناطیسی را در داخل سیم پیچ می‌توان بدین ترتیب تقویت کرد که سیم پیچ از خارج با پوششی آهنی پوشیده شود به طوری که فقط یک شکاف حلقوی در مرکز آن باز بماند. این نوع عدسی‌های مغناطیسی نسبت به اشکال قدیمی الکتروستاتیکی عدسی‌هایی که پیوسته، مغناطیسی بودند، این امتیاز را دارند که در نتیجه تغییر شدت جریان در سیم پیچ شدت حوزه مغناطیسی و همراه آن فاصله کانونی عدسی قابل تغییر خواهد بود. به علت اینکه تغییرات ناخواسته جریان در عدسی نیز منجر به تغییر فاصله کانونی می‌شوند، بایستی جریان در عدسی در حد متوسط ثابت نگه داشته شود ، این تغییرات باید حداکثر از ۰/۰۱ تجاوز نکنند.

علاوه بر این بایستی توجه کرد که فاصله کانونی عدسی به سرعت الکترونها نیز بستگی دارد. بدین جهت لازم است که پتانسیل شتاب دهنده بطور دقیق ثابت نگه داشته شود.

شرح عدسیها در مبحث عدسی و بینایی آمده است.

حرکت ذرات باردار در میدانهای مغناطیسی و الکتریکی

نیروی وارد بر ذره ای با بار e که با سرعت v در میدان‌های الکتریکی ومغناطیسی B,E حرکت می کند از معادله:

$$F = e.E + ev.B \qquad ۱-۴$$

به دست می‌آید. اگر ذره در فضای تهی در سطح زمین جابجا شود با نبودن مولکولی که به آن بر خورد کند و یا بر همکنش داشته باشد، تنها نیرویی که بر ذره وارد می‌آید جزء نیروی‌های الکتریکی و مغناطیسی و نیروی گرانشی است. وقتی ذره مورد نظر، یک ذره اتمی باشد ، به آسانی می‌توان نشان داد که معمولاً نیروی گرانشی قابل چشم پوشی است.

مثلاً نیروی وارد بر یک پروتون که با سرعت $2\times10^5 Cms^{-1}$ (که تقریباً برابر با مولکول هیدروژن در دمای اطاق است) عمود بر میدان مغناطیسی زمین حرکت می‌کند، حدود 10^6 برابر نیروی گرانشی است. نیروی الکتریکی وارد بر یک پروتون در میدان $10^{-7} Vm^{-1}$ حدود بزرگی نیروی گرانشی است . اگر از نیروی گرانشی چشم پوشی شود قانون نیوتون درباره ذره ای در فضای تهی چنین می‌شود:

$$\frac{dp}{dt} = eE + ev.B \qquad ۱-۵$$

که در آن p اندازه حرکت ذره است. اگر B,E معلوم باشند برای یافتن مکان ذره به شکل تابعی از زمان معادله ۵-۱ باید حل شود.

الکترون در میدان الکتریکی

کل نیرویی که بر یک ذره باردار وارد می‌شود برابر حاصل جمع برداری نیروهایی است که از طرف تمامی بارهای دیگر بر آن وارد می‌شود. معمولاً در یک جسم واقعی، ذرات باردار فراوانی وجود دارد. هنگامی که نیروهای وارد بر یکی از این ذرات مورد توجه است بهتر است به جای در نظر گرفتن تک تک چشمه های فراوانی که در به وجود آوردن نیروی کل سهیم اند مفهوم میدان الکتریکی را به کار برد.

الکترون تحت تأثیر میدان الکتریکی بی حرکت نمی‌ماند. اگر دو سیم فلزی موازی به فاصله L به دوقطب یک پیل با اختلاف پتانسیل V وصل شود الکترونی که با بار e بین این دو صفحه قرار دارد با نیروی F متناسب با میدان الکتریکی E به طرف سیم مثبت کشیده می‌شود.

$$F = e.E = e\frac{V}{L} \qquad \text{۱-۶}$$

این الکترون که تحت تأثیر نیروی ثابت مستقل از سرعت قرار گرفته است ، در میدان الکتریکی مانند جسم سنگینی در حوزه ثقل زمین عمل می‌کند. اگر سرعت اولیه نداشته باشد دارای حرکت مستقیم الخط متشابه التغیر خواهد شد، ولی اگر از پیش دارای سرعت اولیه عرضی باشد، حرکتش مانند سنگی خواهد بود که به طور مایل به هوا پرتاب شده و مسیری سهمی خواهد پیمود. الکترونی که بین دوسیم با اختلاف پتانسیل V شتاب یافته است. مقدار انرژی برابر $e.V$ کسب می‌کند. این انرژی معمولاً بر حسب ژول یعنی برحسب کولن ـ ولت بیان می‌شود ولی آن را بر حسب الکترون ولت نیز بیان می‌کنند.

سرعت با توجه به تساوی انرژی جنبشی الکترون وکار انجام شده از رابطه:

$$\frac{1}{2}mv^2 = e.V \qquad \text{۱-۷}$$

$$v^2 = 2\frac{e}{m}.V \qquad ۱-۸$$

به دست می‌آید. در دستگاه واحدهای عملی این سرعت بر حسب کیلومتر در ثانیه از رابطه:

$$v = 600\sqrt{V} \qquad ۱-۹$$

به دست می‌آید. مثلاً با فشار الکتریکی ۱۰۰۰۰ ولت این سرعت برابر $v = 60000\,{Km}/{Sec}$ است و با این سرعت فاصله زمین و ماه در مدت ۶ ثانیه پیموده می‌شود.

ملاحظه می‌شود که اگر چه نیروی مؤثر بر الکترون بسیار ناچیز است، سرعت‌های به دست آمده حتی برای فشارهای الکتریکی معمولی قابل ملاحظه است[1].

الکترون در میدان مغناطیسی

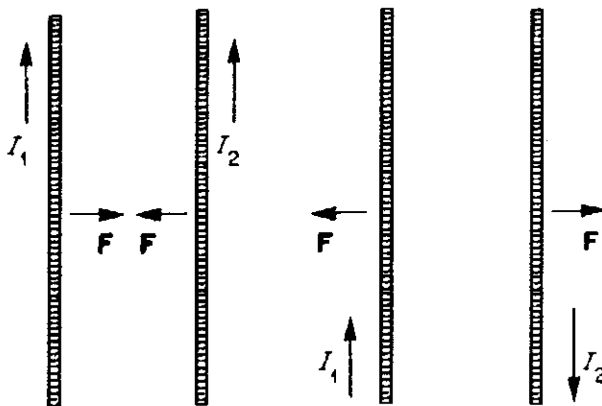
افزون بر نیروهایی که از سوی میدان الکتریکی بر بارها وارد می‌شود، ذرات باردار متحرک تحت تأثیر نیروهای مغناطیسی نیز قرار می‌گیرند. نیروهای مغناطیسی همیشه

۱- حس الکتریکی:

هر عضله به هنگام فعالیت، جریان‌های الکتریکی ایجاد می‌کند. الکتریسیته عضلات قلب توسط دستگاههای الکتروکاردیوگرافی، در حالی که بقیه بدن در حال آرامش است به ثبت می‌رسند.

اعضای ماهیچه ماهی‌های برق زا، که الکتریسیته ایجاد می‌کنند، ماهیچه‌هایی تغییر شکل یافته هستند. ماهی به منظور جهت یابی و تعیین موقعیت، یک میدان الکتریکی به دور خود ایجاد می‌کند. طعمه‌ها، دشمنان و اشیاء، خطوط میدان الکتریکی را متناسب با خصوصیات خود دارای خمیدگی و انحنا می‌کنند. این تغییرات را سلولهای حسی ویژه در میزان تراکم داخلی و خارجی خطوط میدان، در پوست بدن جانور به خصوص در منطقه سر حیوان درک می‌کنند. به این ترتیب مغز جانور، اشیاء و جریاناتی را که در محیط اطراف او در مسافات ۱ تا ۲ متری وجود دارند به وضوح تشخیص می‌دهد.

عمود بر راستای حرکت ذرات باردار حرکت می‌کنند. مثلاً اگر دو سیم فلزی موازی، نزدیک یکدیگر باشند و جریانهای دائم از آنها بگذرد مطابق شکل ۶-۱ بینشان نیرویی به وجود خواهد آمد. اگر جریانها همسو باشند، نیرو، ربایشی و اگر مخالف یکدیگر باشند نیرو، رانشی خواهد بود.



شکل ۶-۱ نیروهای بین سیم های موازی حامل جریان. جریان های همسو نیروی ربایشی و جریان های ناهمسو نیروی رانشی را بوجود می آورد.

مثال ساده ای که غالباً مطرح می‌شود حرکت ذره بادار با جرم m در میدان مغناطیسی یکنواخت است. چون نیروی مغناطیسی همواره برراستای حرکت عمود است این نیرو نمی‌تواند انرژی ذره را افزایش دهد و سرعت آن ثابت می‌ماند و فقط با تغییر دادن مسیر حرکت، آنها را منحرف می‌کند.

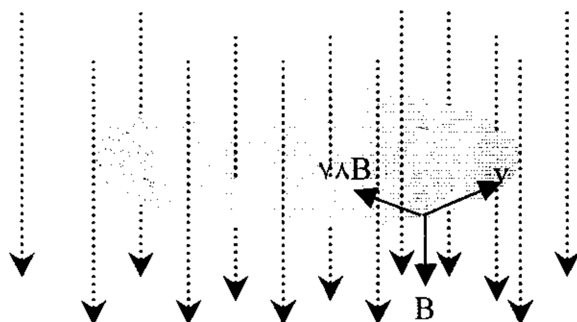
نیروی F که از طرف میدان مغناطیسی بر مفتول حامل جریان i به طول L وارد می‌شود ، از فرمول F=B.L.i به دست می‌آید. ومقدار Li تعداد بارهای الکتریکی است که در یک ثانیه

طول L را طی کرده اند . در مورد یک الکترون این مقدار برابر با $e.v$ است به قسمی که نیروی F موثر بر آن از فرمول $F= B.e.v$ به دست می‌آید.

این نیروکه در آن واحد بر مسیر الکترون و بر امتدادمیدان مغناطیسی B عمود است مسیر الکترون را به صورت دایره ای درآورده و بنابراین:

$$R = \frac{mv}{e.B} \quad \text{یا} \quad \frac{mv^2}{R} = B.e.v \qquad ۱-۱۰$$

که این حرکت در شکل ۷ ـ ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۷-۱ مسیر ذره ای با بار مثبت که عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت حرکت می کند. نیروی مغناطیسی هم بر میدان و هم بر سرعت ذره عمود و مسیر ذره دایره است.

از معادله ۱۰ ـ ۱ می‌توان دید که در میدان مغناطیسی یکنواخت، ذراتی که نسبت اندازه حرکت آنها به بارشان یکسان است روی دایره هایی با شعاع‌های مساوی حرکت می‌کنند. برای جدا کردن ذراتی که برای آنها $\frac{mv}{e}$ اندازه معینی دارد، عملاً ذراتی برگزیده می‌شوند که در میدان یکنواخت مسیری را با شعاع ثابت طی می کنند.

میدان مغناطیسی به شدت یک گاؤس[1] چیزی در حدود میدان مغناطیسی زمین است. دقیق‌تر اینکه، میدان مغناطیسی در سطح زمین از حدود ۰/۳G در استوا تا حدود ۰/۶ G در قطبها تغییر می کند.[2]

۱- شدت میدان مغناطیسی غالباً با یکایی به نام گاوس (G)بیان می‌شود.

۲- حس مغناطیسی:

هنگامی که یک پژوهشگر یک بسته پستی حاوی ۵۰ ملکه موریانه از آفریقا را دریافت کرد، آن حشرات را در یک جعبه شیشه ای ریخت، همگی بدون نظم و ترتیب و در هم و بر هم داخل جعبه قرار گرفتند اما صبح روز بعد تمام حشره ها سرهایشان جهت شرق و غرب را نشان می‌داد. پژوهشگر به نرمی و با احتیاط جعبه را به اندازه ۴۵ درجه چرخاند. اما پس از ۲۰ دقیقه حشره ها دوباره درجهت شرق یا غرب قرار گرفتند، درست مثل اینکه آنها سوزن مغناطیسی زنده باشند. در هفته های بعد پژوهشگر به این نتیجه علمی دست یافت که موریانه ها واقعاً می‌توانند میدان مغناطیسی زمین را احساس کنند(این جریان در سال ۱۹۶۳ اتفاق افتاد).

مارماهیها هم در عمق دریا مسیر خود را با کمک یک قطب نمای داخلی می‌یابند. همین طور کبوتر های نامه رسان و پرندگان مهاجر نیز نوعی قطب نمای مغناطیسی داخلی در اختیار دارند.

پژوهشگران آمریکایی، برای اینکه دریابند ، سایر موجودات زنده چگونه می‌توانند میدانهای مغناطیسی را شناسایی کنند در جستجوی کریستالهای مگنتیت (کلوخه طبیعی آهن به فرمول Fe_3O_4 که از نظر قطبی پولاریزه است) در تمام اعضای مشکوک جانوران بودند وعاقبت در مغز دلفینها و در بینی سایر جانوران به چنین مواردی دست یافتند.

اولین موجودی که پژوهشگران در آن یک قطب نمای مغناطیسی معمولی کشف کردند یک باکتری است که کریستالهای مگنتیت در یک ردیف مستقیم به صورت ثابت نظم یافته بودند ، درست مانند یک سوزن مغناطیسی. باکتری با کمک این کریستالها جهت شمال را حفظ (در نیمکره شمالی زمین) و به این وسیله به صورت مورب خود را به پایین و به داخل لجن‌ها، که غذا در آنجا یافت می‌شود، هدایت می کند.

۲

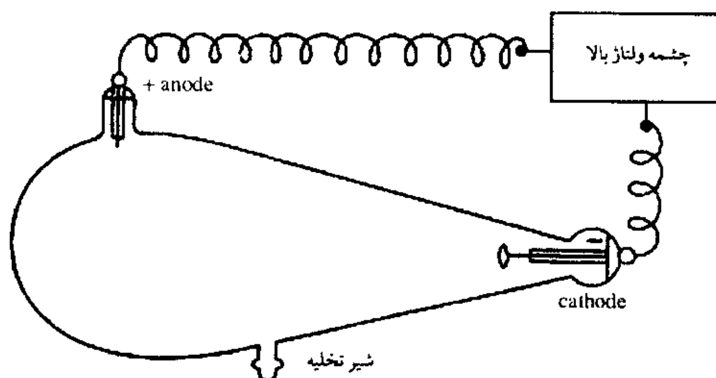
تفرق اشعه ایکس

کشف اشعه ایکس

در نوامبر سال ۱۸۹۵ میلادی ویلهم کنراد رونتگن[1] استاد فیزیک دانشگاه ورسبورگ آلمان سرگرم انجام تحقیقات روی اشعه کاتودیک با لوله کروکس ـ هیتورف بود که شامل حباب شیشه ای با تخلیه تقریباً کامل از هوا بود(شکل ۱-۲)٠

1- Wilhelm Conrad rontgen

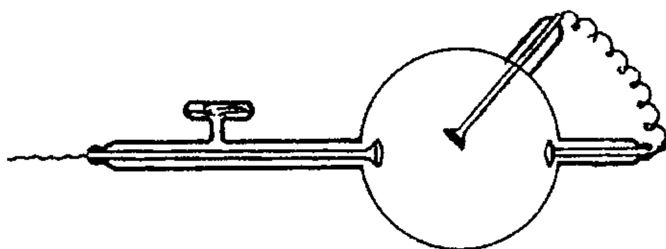
او هنگام مطالعه تخلیه الکتریکی لوله پرتوهای کاتدی، متوجه نورافشانی زودگذری در مقداری از باریم پلاتین سیانید موجود در لوله شد. تحقیقات بعدی ثابت کرد که علت این رویداد منشاء گرفتن پرتوها از محوطه فلورسنت لوله کاتدی است.



شکل ۱-۲ لولهٔ کروکسی که رونتگن با آن کار می کرد.

در آزمایش رونتگن پرتوهای کاتدی به دیواره لامپ برخورد می‌کنند و در نتیجه دیواره شیشه‌ای، چشمه پرتوهای رونتگن می‌شود. گونه پیشرفته تر این لامپ ، لوله گازدار است که از حباب شیشه ای گرد یا بیضی شکل درست شده است و از دو سو به دو شاخه کوتاه پایان می‌پذیرد. درون یکی کاتد و دیگری آند جا دارد(شکل ۲-۲). آند لوله ، آنتی کاتد هم نامیده می‌شود. چون گرما فراوان است، برای جلوگیری از ذوب و بخار شدن هدف، آن را از فلزی سنگین و سخت مانند پلاتین و یا تنگستن می‌سازند و کاتد هم از آلومینیوم است. هنگام برقراری جریان، یونهای موجود در گاز درون حباب در اثر میدان الکتریکی شدید، سرعت می گیرند.

به علت پرتاب کاتدی ، الکترونهای پرسرعت از رویهٔ کاتد پرتاب شده و در سر راه خود به آنتی کاتد(هدف) برخورد می نمایندو از جایگاه برخورد آنها پرتو رونتگن گسیل می‌شود. در نتیجهٔ کار و گذشت زمان، بخشی از گاز درون لوله در سطح الکترودها ودیواره لوله جذب شده، از فشار گاز کاسته و مقاومت الکتریکی آن افزوده می‌شود. از این رو ولتاژ بیشتری برای به کار انداختن لوله نیاز خواهد بود.



شکل ۲-۲ طرح نمایشی یک لولهٔ پرتو رونتگن گازی

رونتگن نشان داد که اشعهٔ ایکس دارای خواص زیر می باشد:

۱ ـ سبب فلورسانس بعضی مواد می شود.

۲ـ فیلم عکاسی را سیاه می کند.

۳ ـ به خط مستقیم منتشر می شود.

۴ ـ در میدانهای الکتریکی و مغناطیسی منحرف نمی شود.

۵ ـ در بیشتر مواد قابلیت نفوذ دارد.

۶ ـ تولید پرتوهای مختلف پراکنده و ثانویه می کند.

۷ ـ پس از عبور از هوا، آن را هادی الکتریسیته می کند.

۸ ـ خصوصیات آن اساساً با اشعهٔ کاتودیک متفاوت است.

خواص اشعه ایکس

خواص عمومی

اشعهٔ ایکس شباهت کامل به نور معمولی دارد وتنها مورد اختلاف آنها مربوط به انرژی فوتونها و یا فرکانس آنها می باشد که برای اشعهٔ ایکس چندین هزار برابر پرتوهای مرئی است. بنابراین اشعهٔ ایکس قسمتی از طیف پیوسته امواج الکترومغناطیسی را تشکیل می‌دهد.

خواص فیزیکی

خواص نوری؛ انعکاس منظم اشعهٔ ایکس در آیینه‌ها و سطوح صیقلی معمولی امکان پذیر نیست. زیرا طول موج آن در حدود ۱۰۰۰۰مرتبه از اشعهٔ مرئی کمتر است و ناصافی های سطحی فوق نسبت به این مقدار را نمی توان نادیده گرفت. از این رو برای آزمایش انعکاس این اشعه، از سطح بلورهای طبیعی مانند بلور نمک طعام استفاده می کنند که اشعهٔ ایکس در سطح شبکه بلورها طبق قوانین انعکاس بازگشت پیدا می کند. از آنجاییکه، بلورهای طبیعی از طبقات منظم اتم یا مولکول تشکیل شده است، بنابراین انعکاس اشعهٔ ایکس در سطوح طبقات مختلف بلور باعث پیدایش پدیده انترفرانس(تداخل امواج) می گردد.

خواص یونیزاسیون

تابش اشعهٔ ایکس به ماده باعث یونیزاسیون (یونش) بعضی از مولکولها و اتمهای آن می گردد. حتی اجسام عایق، کم و بیش هادی جریان الکتریسیته می شوند. مثلاً تابش اشعهٔ ایکس در هوا یا سایر گازها باعث تولید جفت یونها و تخلیه الکتریکی می شود. تأثیرات بیولوژیکی اشعهٔ ایکس، بیشتر مربوط به پدیدهٔ یونیزاسیون می باشد.

خواص فلورسانس

تابش اشعهٔ ایکس در بعضی مواد سبب تولید برانگیختگی و در نتیجه، تولید اشعهٔ اختصاصی عنصر مربوطه می گردد. طول موج این اشعه عموماً بیشتر از اشعهٔ ایکس و حتی بعضی از آنها در منطقه طیف مرئی قرار می گیرد. در حالت برانگیختگی، یک الکترون از طبقه داخلی به مدار خارجی تر و حتی به بیرون ازاتم پرتاب می شود. بازگشت اتم به حالت عادی سبب انتشار فوتونهای لومی نسانس می گردد. غالباً تابش اشعهٔ ایکس باعث ظهور پدیدهٔ فلوئورسانس می‌گردد. پدیدهٔ فلوئورسانس فقط با تابش اشعهٔ ایکس ظاهر می شود و با قطع اشعه این اثر فوراً از بین می رود (پدیده فسفرسانس تا مدتی پس از قطع اشعه ادامه می یابد).
املاح فلزهای قلیایی خاکی و نیز بعضی از مواد آلی دارای خاصیت فلوئورسانس می باشند. ولی برخی از ترکیبات مانند پلاتینوسیانور باریم و یا تنگستات مولیبدن و کلسیم و منیزیم این خاصیت را با شدت بیشتری دارا هستند. از این املاح برای نشان دادن مسیر اشعهٔ ایکس و همچنین جهت مطالعهٔ سایه ها وتصاویر اجسام که در نتیجهٔ جذب اشعه تولید می شوند استفاده می کنند[1].

خواص دیگر ؛ تابش اشعهٔ ایکس در بعضی مواد باعث تغییر رنگ آنها می شود و میزان این تغییر با شدت اشعه و مدت تابش بستگی دارد . از این کیفیت در اندازه گیری اشعهٔ ایکس می توان استفاده کرد. مطالب فوق مؤید ماهیت موجی بودن اشعهٔ ایکس می باشد.

پدیدهٔ پراکندگی با تغییر طول موج، ایجاب می کند که برای اشعهٔ ایکس جنبهٔ ذره ای نیز قائل شوند. طبق نظریهٔ انیشتین ، اشعهٔ ایکس از ذراتی به نام فوتون که هر یک شامل مقدار معینی

۱- اشعه ایکس به هنگام عبور ازمنشورهایی از جنس ابونیت ، موم ، آلومینیوم و غیره منحرف نمی شود . زیرا ضریب انکسار اشعه ایکس برای این محیطها تقریباً حدود یک می باشد .

انرژی ـ کوانتوم است تشکیل می شود. انرژی کوانتوم هر فوتون از فرمول پلانک $w = hf$ حساب می شود. که در آن h ضریب پلانک $6/624\times10^{-34}$ ژول در ثانیه و f فرکانس است.

خاصیت برانگیختگی و یونیزاسیون اتمها نیز با این نظریه به خوبی تعبیر می‌شود، زیرا فقط فوتونهایی که انرژی کافی داشته باشند در اثر برخورد با یک الکترون محیطی اتم می‌توانند آن را فوراً از مدار اصلی خود دورتر سازند (برانگیختگی) و یا به کلی از اتم بیرون نمایند (یونیزاسیون). پس ملاحظه می‌شود که فقط کافی بودن انرژی فوتون لازم است و موضوع فاصله از منبع اشعه دخالتی ندارد.

ناحیه پرتو ایکس برحسب انرژی، محدوده ما بین ۰/۱ ـ ۱۰۰ kev را می‌پوشاند. انرژی یک ذره توسط $E = hf$ محاسبه می گردد . که در آن h ثابت پلانک و f فرکانس می‌باشد. از آنجایی که طول موج λ و سرعت نور c است ، بنابراین معادل انرژی یک فوتون پرتو ایکس برابر است با

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6/624\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{10^{-10}} = 2\times10^{-15}\,j$$

از آنجایی که : $1ev = 1/6\times10^{19}\,j$

بنابراین $E = \dfrac{2\times10^{-15}}{1/6\times10^{-19}} = 12400ev$

و یا $E = \dfrac{12/4}{\lambda}$ به طوری که E برحسب kev و λ، بر حسب $\mathring{A}$ باشد .

تفرق اشعه ایکس به وسیله بلورها

پدیده‌هایی که از تفرق اشعهٔ ایکس به وسیله شبکه های بلور حاصل می‌شوند، از اختصاصات این اشعه می‌باشد.

اهمیت این روش از تفرق، از آن جهت است که توانسته اند، ماهیت ارتعاشی اشعهٔ ایکس را ثابت نمایند. این روش بهترین طریقه برای حصول طیفهای اشعه ایکس می‌باشد.

آزمایش زیر نشان دهنده ماهیت فیزیکی اشعه ایکس و همچنین ساختمان شبکه ای بلورها می‌باشد.

سطوح A،B وC مطابق شکل ۳-۲ که از ذراتی به طور منظم تشکیل شده اند را در نظر بگیرید. اگر موج الکترون مغناطیسی همانند اشعه ایکس با طول موج مشخص از سمت چپ به این لایه ها برخورد کند ، تحت شرایطی خاص در طرف راست منعکس خواهند شد. اگر تغییرات میدان الکتریکی موج E بر حسب فاصلهٔ X، برای هر امتداد اشعه در سمت راست رسم شود، در صورتی تفرق اتفاق می افتد که تغییرات E بر حسب X حاصل از جمع جبری تک تک امتدادها همدیگر را خنثی و صفر نکنند. بدین منظور لازم است ماکزیمم منحنی ها در زیر یکدیگر قرار گیرند که در این صورت مینیمم منحنی ها نیز در یک امتداد و در زیر هم قرار خواهند گرفت. اصطلاحاً چنین امواجی را بدون اختلاف فاز و یا هم فاز می نامند. این شرایط برای دو امتداد اشعه در سمت راست شکل۳-۲ نشان داده شده است. با دنبال کردن مسیر امتدادهای ۱ و ۳ در برخورد با لایه های موازی شکل ۳-۲ نتیجه می شود که امتداد ۳ به اندازه مسافت $ML + LN$ بیشتر از مسیری که شعاع ۱ طی کرده است می باشد. در این شکل M و KM عمودی هستند که از نقطهٔ K بر امتدادهای ۳ و ۳ رسم گردیده اند. حال اگر این اضافی

مسیر مضربی از طول موج λ باشد، این بدان معنی است که تغییرات E برحسب X موج ۳
درست در زیر منحنی E برحسب X از شعاع ۱ قرار می گیرد به ترتیبی که جمع جبری آن در
هر لحظه بر حسب تغییرات X مقدار X ۲ می باشد.

$$LN + LM = n\lambda \qquad ۲-۱$$

$$LN = dSin\theta \qquad LM = dSin\theta$$

n عدد صحیح ، λ طول موج اشعه ، d فاصلهٔ بین دو ردیف اتم و θ زاویه برخورد
اشعه با سطح اتمها می باشد.

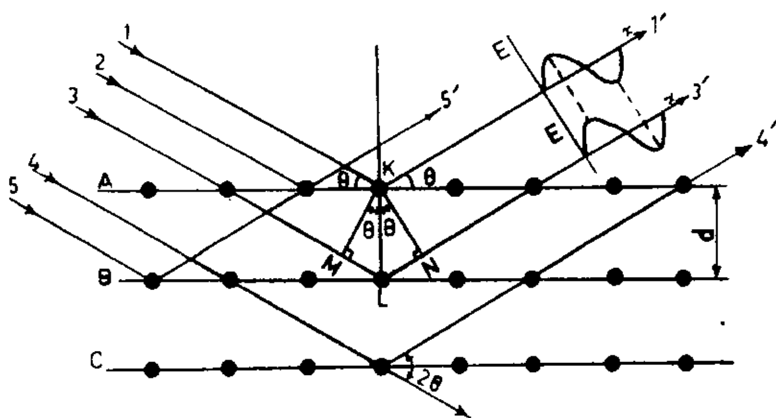
$$LN + LM = dSin\theta + dSin\theta = 2dSin\theta = n\lambda \qquad ۲-۲$$

این فرمول برای اولین بار توسط براگ[1].مشخص و بعدها به نام قانون براگ معروف شد. زاویهٔ
θ را نیز زاویهٔ براگ می نامند.

نکتهٔ بسیار مهم در اینجا مقایسه برخورد نور مرئی به آیینه و تفرق اشعه ایکس بر اثر برخورد به سطح کریستال می باشد. در برخورد نور مرئی به آیینه همواره شعاع منعکس شده وجود دارد و قانون حاکم ، برابری زاویه برخورد با زاویه انعکاس می باشد. در حالی که در تفرق اشعه ایکس تنها در یک حالت و شرط برقراری رابطهٔ براگ بین فاصلهٔ صفحات ، زاویه برخورد اشعه ایکس و طول موج اشعه امکان تفرق وجود دارد.

این قانون در کاربرد هر موجی قابل استفاده است و طول موج مشخص شده در این فرمول به طول موج اشعه به کار رفته بستگی دارد.

1- .W .L . Bragg



شکل ۳-۲ تفرق اشعه ایکس بر اثر برخورد با سطوح موازی یک کریستال.

لوله های مولد اشعه ایکس

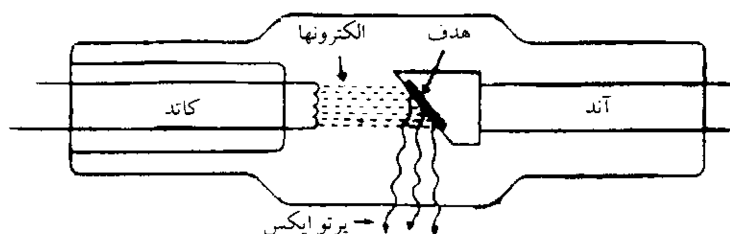
لوله های ابتدایی مولد اشعه ایکس مشابه لوله هیتورف ـ کروکس رو نتگن بود، با این تفاوت که در آنها با افزودن یک آنتی کاتد فلزی یا هدف، الکترونها به جای اصابت به جدار شیشه، به آن برخورد می کنند. دوام این لوله ها از لوله های سابق بیشتر است، زیرا فلز در مقابل حرارت حاصل از بمباران الکترونی مقاومتر است. در این لوله کمیت و کیفیت اشعه، هر دو بستگی به فشار گاز داخل لوله دارد. برای یک ولتاژ معین، شدت اشعه کاتدیک(برحسب میلی آمپر) یا الکترونها، بستگی به تعداد اتم های قابل یونیزه گاز یا به عبارت دیگر فشار دارد و بر حسب مقدارگاز موجود درلوله تغییر می کند. به طوریکه در فشارهای کمتر که تعداد اتم ها نیز کمتر است به ازای یک ولتاژ معین و به علت وقوع تصادمات متوالی کمتر، یونها می توانند، شتاب بیشتر، در نتیجه اشعهٔ ایکس پر انرژی تر تولید کنند.

طرح و ساختمان لوله

قسمت های اصلی و اساسی یک لوله مولد اشعهٔ ایکس در شکل ۴ ـ ۲ آمده است و شامل حباب شیشه ای تخلیه شده است. این حباب ممکن است ساختمانی از شیشه پخته یا ترکیباتی از شیشه و سرامیک و به خصوص برای ولتاژهای یک میلیون یا بیشتر، ترکیباتی از فلزات داشته باشد. آن قسمت از شیشه لوله که اشعه مفید از آن می‌گذرد ممکن است از سایر قسمت های لوله نازکتر باشد یا برای پرتوهای کم انرژی، پنجره لوله را ممکن است از بریلیوم که یک فلز با پایین ترین عدد اتمی است ساخت که بالطبع، حداقل مقدار جذب اشعه را دارد.

فیلامان به شکل رشته ای از جنس تنگستن و به یک مدار گرم کننده کم ولتاژ جداگانه،تجهیز شده است. سیم ملتهب از خود ، الکترونهایی ساطع می کند که میزان آن با افزایش درجه حرارت به سرعت افزایش می یابد. با افزایش شدت جریان مدار گرم کننده درجه حرارت فیلامان نیز بالا می رود و تعداد الکترونهایی که از لوله عبور کرده و به هدف اصابت می کنند افزایش می یابد. بنابراین با تغییر شدت جریان گرم کننده می توان جریان لوله را کنترل نمود. قسمتی از سطح هدف که الکترونها به آن اصابت کرده و اشعهٔایکس از آن خارج می شود کانون یا لکهٔ کانون می گویند. لازم به ذکر است که استفاده از هدف هایی از جنس فلزاتی با عدد اتمی بالا،سبب افزایش کارایی تولید اشعهٔ ایکس می گردد. بمباران الکترونی باعث بالارفتن درجه حرارت آن می شود که این تولید حرارت عامل مهم محدود کردن قدرت یک لوله مولد اشعه ایکس به حساب می آید. بنابراین انتخاب جنس هدف باید براساس عدد اتمی و نقطه ذوب هر دو باشد. تنگستن تقریباً یک انتخاب جهانی برای لوله های رادیولوژی و رادیوتراپی پرولتاژ است. عدد اتمی تنگستن از عدد اتمی تعداد زیادی از فلزات کمتر است ولی این عیب با بالا بودن مقدار نقطه ذوب آن مقابله می کند .از آنجا که هدایت حرارتی

تنگستن نسبتاً پایین است به همین دلیل هدف تنگستن معمولاً در غلاف لوله مسین فرو رفته است. همواره لازم است یک حداقل فاصله که بستگی به ولتاژ دو سرلوله دارد بین فیلامان و هدف حفظ شود.



شکل ۴-۲ لوله ساده مولد اشعه ایکس



ماکرومولکولها

مقدمه

ماکرومولکولهای حیاتی دارای ساختمان پیچیده و نقش خاصی می باشند. برای مطالعه ارتباط بین ساختمان و نقش آن، از روش دناتوره شدن می توان اطلاعات جامعی بدست آورد. پیوند شدن لیگاند به ماکرومولکول، از جمله روشهای دناتوره شدن ماکرومولکول ها می باشد. دناتوره شدن فرآیندی است که در آن آرایش فضایی طبیعی ماکرومولکول تغییر می کند، بدون آنکه پیوندهای کوالانس اولیه تخریب شود. یعنی در ساختمان اولیه ماکرومولکول، تغییری حاصل نمی گردد.

منظور از آرایش فضایی ماکرومولکول ساختمان سه بعدی آن است، که آرایش خاص اتمها، طولهای پیوندی و زوایای پیوندی را تعیین می کند. با عمل دناتوره شدن، اطلاعات بیشتری در مورد ساختمان، خواص و نقش ماکرومولکولها بدست می آید.

ماکرومولکولها از واحدهای تکرار شونده ای ساخته شده اند که به وسیله پیوندهای کوالانس به یکدیگر متصل می شوند. این واحدها را مونومر می نامند و ماکرومولکول حاصل از تکرار آنها پلیمر نامیده می شود. افزایش تعداد مونومرها در یک ماکرومولکول، بروز خصوصیات کاملاً جدید و متفاوتی با ویژگیهای مونومر سازنده آن را موجب می شود.

چهار گروه اصلی ماکرومولکولها که در سلول دیده می شوند عبارتند از :

اسیدهای هسته ای (رمز کننده اطلاعات ژنتیکی و عامل تولید پروتئین)، پروتئین ها (مسئول تنوع و عمل سلولها و نقشهای متابولیکی آنها)، کربوهیدراتها، که به فرم های ساده و مرکب وجود دارند [به عنوان ذخیره انرژی سلولی (گلیکوژن) یا ترکیبات ساختمانی ماتریکس خارج سلولی (گلیکولز آمین گلیکنها)] و چربیها که از اسید چرب و الکل حاصل می شوند [دارای نقشهای متعدد از جمله ذخیره انرژی (گلیسیدها) یا شرکت در غشاء سلولی (فسفولیپیدها) می باشند] پروتئین ها و اسیدهای هسته ای که به پلیمرهای تراکمی موسومند بیشتر تحت نام ماکرومولکولهای زیستی شناخته شده اند.

خواص فیزیکی ماکرومولکولها

خواص کلوئیدی

کلوئید از کلمه های یونانی Kolla (چسب) و Eidos (شبیه) گرفته شده است که برای اولین بار به وسیله توماس گراهام برای طبقه بندی اجسامی که در حالت آمورف و ژلاتینی بودند بکار رفت. خواص کلوئیدی مختص یک طبقه از اجسام نمی باشد. بلکه به جسمی که بتواند در شکل کلوئیدی تشکیل شود اطلاق می‌گردد. مولکولهای بزرگ مانند پلیمرهای سنتتیک و پروتئین را در طبقه ای از کلوئیدها قرار می دهند.

گراهام برای مواد دو حالت ارائه نمود:

۱ ـ حالت کریستالی: در این حالت حل شدن ماده در آب از نظر فیزیکی تغییری در آب ایجاد نمی کند و وقتی محلول آنها حرارت داده شود (غلیظ شوند) قابلیت تبلور دارند.

۲ ـ حالت کلوئیدی : در این حالت وقتی ماده در آب حل می شود، تغییر فیزیکی ایجاد می کند و وقتی محلول آنها غلیظ شود ایجاد چسب یا ژله می نمایند.

موادی مانند: شکر، نمک، اسید و بازها که براحتی از غشاء عبور می کنند به کریستالوئید و موادی مانند: ژلاتین، آلبومن و ... که به کندی از غشاء می گذرند به کلوئیدها موسومند. اندازه مولکولها در حالت کلوئیدی از ۱ میلی میکرون (۰/۰۰۰۰۰۱ میلی متر) تا ۱۰۰ میلی میکرون در تغییر است. ذرات کوچکتر از این مقدار را کریستالوئید می گویند که در ردهٔ محلولهای حقیقی قرار می گیرند. ذراتی که از حد تعریف شده برای کلوئید بزرگترند در تعلیقها یافت می شوند. مرز مشخصی بین کریستالها و کلوئیدها وجود ندارد زیرا با استفاده از روشهای مناسب می توانند به یکدیگر تبدیل شوند. بنابراین اصطلاح مواد کلوئیدی به حالت کلوئیدی تغییر پیدا می کند.

کلوئید ها که گاهی تحت عنوان محلولهای کلوئیدی و تعلیقهای کلوئیدی رده بندی می شوند، بسته به اندازه ذراتی که حل می شوند در گستره محلولهای حقیقی و تعلیقها قرار می گیرند. در کلوئید ذرات به قدری کوچک اند که کم و بیش برای یک بازهٔ زمانی به حالت تعلیق پایدار باقی می مانند. از این لحاظ که پس از عبور از کاغذ صافی بدون تغییر می مانند، شبیه محلولها و از این نظر که دارای ذرات ریز غیر قابل حلی هستند به تعلیقها شباهت دارند. اما این امر همیشه صادق نیست و گاهی اجسام قابل حل به علت بزرگ بودن مولکولها، محلولهای کلوئیدی را تشکیل می دهند. به عنوان مثال این مسأله هنگامی که مولکولهای پروتئین وارد سلول می شوند رخ می دهد.

از ویژگیهای مهم محلولهای کلوئیدی این است که می توانند به دو حالت سل و ژل تغییر حالت دهند. سل به حالتی گفته می شود که مولکولهای حلال، میسلها را در بر می گیرند. ژل به حالتی گفته می شود که میسلها مولکولهای حلال را در بر گرفته باشند. سل یک شاره است. زیرا هر ذره کاملاً با مایع احاطه شده است،اما تحت شرایط خاصی ممکن است ذرات به یکدیگر بچسبند و یک شبکهٔ جامد پیوسته ای تشکیل دهند که مایع بصورت قطراتی در اندازه کلوئیدی در سرتاسر آن پراکنده شده است. این ماده ژل است که نسبتاً جامد است زیرا مایع با جامد احاطه شده است. ژلاتین و آگار که کاربردهای بیولوژیکی دارند نمونه هایی از ژل هستند. تصور می شود که برخی فرایندهای فیزیولوژیکی مانند انقباض عضله، مستلزم تغییرات الیاف عضله از سل به ژل و بر عکس باشد. تغییرات غشاء سلول در سلولهای فاگوسیت(سلولهای بیگانه خوار) هنگامی که برای محاصره اجسام خارجی به حرکت درمی آیند به تغییر حالت از ژل به سل وابسته است.کلوئید ها را به طریق زیر، رده بندی

می کنند. هنگامی که میان ذرات و مولکولهای محیطی که این ذرات در آن پاشیده می شوند، جاذبه قوی وجود داشته باشد، کلوئید را لیوفیلیک (حلال دوست) می گویند. اگر محیط آب باشد کلوئید را هیدروفیلیک(آب دوست) می گویند. مواد کلوئیدی که مستقیماً وارد محلول نمی شوند، مواد لیوفوبیک (حلال گریز) نام دارند و هنگامی که محیط آب باشد آنها را هیدروفوبیک (آب گریز) می گویند. در سطح ذرات کلوئیدی بار الکتریکی وجود دارد. نیروی دافعهٔ میان این ذرات که ناشی از بارهای همنام آنهاست سبب پایداری حالت پاشندگی آنها می شود. اگر ذرات با بار مخالف در این پاشندگی قرار گیرند، ذرات اولیه را جذب و باعث رسوب آنها می شوند.

ذرات کلوئیدی را با روشهای اولتراسانتریفوژ و یا دیالیز می توان جدا ساخت و یا هنگامی که یک محلول کلوئیدی را تبخیر می کنند مادهٔ جامد بی شکلی بدست می‌آید. علاوه بر موارد ذکر شده محلولهای کلوئیدی دارای ویژگی های دیگری نیز می‌باشند که در زیر به آنها اشاره می شود.

- ذرات فازگسستهٔ محلولهای کلوئیدی دارای سطح نسبتاً بزرگی می باشند که اکثر فعل و انفعالات فیزیولوژیکی بر روی این سطح انجام می شود.

- چنانچه محلولهای کلوئیدی در معرض یک نوار نور که به طور یک طرفه به آنها تابانیده شده است قرار بگیرند به علت وجود ذرات فاز گسسته مقداری از نور شکسته می شود و در نتیجه مسیر نور در محلول کلوئیدی مشخص می گردد. این پدیده به پدیدهٔ تیندال معروف می باشد. و شدت آن در محلولهای کلوئیدی هیدروفوبیک بیشتر از محلولهای کلوئیدی هیدروفیلیک

است. لازم به ذکر است که محلولهای کلوئیدی ژل فاقد پدیدهٔ تیندال می باشند و از این نظر مانند محلول‌های حقیقی هستند.

ـ ضریب چسبندگی [1] محلول‌های کلوئیدی با افزایش درجه حرارت کاهش می یابد و با افزایش ذرات فازگسسته، ویسکوزیته محلولهای کلوئیدی افزایش می یابد. همچنین افزایش ضریب چسبندگی در محلول‌های کلوئیدی هیدروفیلیک بیش از محلولهای کلوئیدی هیدروفوبیک است.

ـ ذرات کلوئیدی معمولاً دارای بار الکتریکی می باشند. این بار الکتریکی معمولاً یا از محیط ذرات کلوئیدی و یا در اثر تجزیه بعضی از مولکولهای فازگسسته تأمین می شود. کلوئیدهای غیرآلی یا دارای بار منفی و یا داری بار مثبت می‌باشند.در صورتی که کلوئیدهای آلی مانند آنچه که در سلولهای گیاهی یافت می‌شوند، دارای بار منفی می باشند. در روی ذرات کلوئیدی به ازاء هر بار الکتریکی، بار الکتریکی مخالفی به آن می چسبد و در نتیجه اطراف هر ذره کلوئیدی دو لایه بار الکتریکی وجود خواهد داشت. وجود بار الکتریکی باعث پایداری محلولهای کلوئیدی می شود و از ته نشین شدن ذرات جلوگیری می کند. در محلولهای کلوئیدی هیدروفیلیک، فاز گسستهٔ آنها علاوه بر بار الکتریکی داری یک لایه آب نیز می باشند. که این امر در پایداری آنها کمک می کند.

ـ چون پایداری ذرات کلوئیدی بستگی به بار الکتریکی و لایه آب اطراف آنها دارد، بنابراین با خنثی کردن بار الکتریکی آنها و برداشتن آب اطرافشان ذرات کلوئیدی رسوب خواهند کرد.

---

1 - Viscosity

- چون ذرات کلوئیدی در مقایسه با ذرات یونی و مولکولی درشت تر می باشند، بنابراین اثر اسمزی آنها به مراتب کمتر از این ذرات خواهد بود.

- چون میزان انتشار با اندازه جسم نسبت عکس دارد، در مقایسه با ذرات یونی و مولکولی میزان انتشار ذرات کلوئیدی پایین خواهد بود.

- جذب سطحی کلوئید ها بسیار بالا است. یعنی حلال را با شدت به سطح خودشان جذب می کنند.

تأثیر نیروهای مختلف در پایداری ساختمان ماکرومولکولها

نیروهای واندروالس یا نیروی لاندن

نیروی های واندروالسی دارای دامنهٔ فعالیت کوتاهی هستند. تنها بین دو قسمت از مولکولهای مختلفی که در تماس نزدیکند، بین سطح تماس مولکول‌ها عمل می نمایند. (نیروی واندروالسی بسیار ضعیف است و تنها در فواصل کوتاه اثر می کند). این نیرو شامل دو جزء جذب کننده و دفع کننده می باشد. نیروی جذب کننده در اثر تداخل عمل بین دو قطبیهای القاء شده در اثر نوسان لحظه‌ای، در توزیع ابرهای الکترونی اتمهای مجاور تشکیل می شود. نیروی دفع کننده هنگامی وارد عمل می شود که دو اتم به قدری به یکدیگر نزدیک می شوند که اربیتالهای الکترونی آنها همپوشانی پیدا می کنند.

پیوند هیدروژنی

در پیوند هیدروژنی، هیدروژن به عنوان پلی بین دو اتم الکترونگاتیو عمل می کند که یکی از آنها را با پیوند کووالانسی و دیگری را با نیروی کاملاً الکتروستاتیکی نگه می دارد. وقتی پیوند هیدروژنی اهمیت دارد که حتماً هر دو اتم الکترونگاتیو از گروه F، O، N باشند. به عبارت دیگر جاذبه بین مولکولی اتم هیدروژن با بار جزئی مثبت از یک مولکول با اتم الکترونگاتیو با بار منفی از اتم دیگر تشکیل پیوند هیدروژنی می دهد و فقط هیدروژنی که به یکی از این سه عنصر متصل است به اندازه کافی مثبت است و تنها این سه عنصر برای جذب، به اندازه کافی منفی می باشند. این سه عنصر تأثیر خود را مدیون تراکم بار منفی بر روی اتمهای کوچکشان هستند. پیوندهای هیدروژنی در تعیین شکل مولکولهای بزرگ مانند پروتئینها و اسیدهای نوکلئیک نقش مهمی را بازی می نمایند. اشکال این مولکولها مستقیماً خواص بیولوژیکی را تعیین می کند . این پیوند هیدروژنی است که باعث دوگانگی مارپیچ DNA می گردد و در نتیجه، اجازه می دهد تا مولکولهای نظیر خود را بسازند. این عمل اساس وراثت است. در مقایسه، نیروی بین مولکولی لاندن از همه ضعیف تر و پیوند هیدروژنی از همه قویتر است.

پیوند هیدروفوب

پیوند هیدروفوب(آب گریز) چنانچه از نامش پیداست در بین مولکول‌هایی وجود دارد که به علت ساختمان غیر قطبی مولکولی، غیر محلول در آب می باشند. تمایل زیاد مولکولهای آب به همدیگر سبب می شود که مولکولهای غیر قطبی موجود در محلول را از بین

خود رانده و برای به حداقل رساندن تماس نامناسب آب ـ مولکول‌های غیر قطبی، مولکولهای غیر قطبی را مجتمع می‌نمایند.

واکنشهای الکتروستاتیک

ارتباطهای الکتروستاتیک یا پیوند نمکی بین گروههای دارای بار الکتریکی مخالف از قبیل گروههای انتهای آمینی و انتهای کربوکسیل پپتیدها و گروههای R باردار مربوط به ریشه های آمینواسیل قطبی برقرار می شوند.

پروتئین

از آنجا که سیستم یکسانی برای تقسیم بندی پروتئینها وجود ندارد، می توان آنها را بر اساس قابلیت حل شدن، شکل عملکرد بیولوژیک یا ساختمان سه بعدی تقسیم کرد. در یک سیستم با کاربرد محدود در بیوشیمی بالینی، افتراق بین آلبومینها، گلبولینها، هیستونها و غیره بر اساس قابلیت حل شدن آنها در محلولهای نمکی آبی صورت می گیرد.
پروتئینها را می توان بر اساس شکل کلی آنها نیز تقسیم کرد به این ترتیب پروتئینهای کروی ، مانند بسیاری از آنزیمها دارای زنجیره های پلی پپتیدی به هم چسبیده و کاملاً تاشده هستند. پروتئینها را می توان همچنین بر اساس اعمال بیولوژیک آنها به صورت گروههای زیر تقسیم کرد:

ـ آنزیمها (دهیدروژنازها ـ کینازها)

ـ پروتئینهای ذخیره ای (فریتین ـ میوگلبولین)

ـپروتئینهای تنظیمی (پروتئینهای اتصالی به DNA ، هورمونهای پپتیدی)

- پروتئینهای ساختمانی (کلاژن - پروتئوگلیکانها)

- پروتئینهای حفاظتی (فاکتورهای انعقاد خون - ایمنوگلبولینها)

-پروتئینهای ناقل (هموگلوبین-لیپوپروتئینهای پلاسما)

- پروتئینهای انقباضی یا تحرکی (اکتین - توبولین)

در سیستمهای خاص، تقسیم بندی پروتئینهای کمپلکس خاصی که اهمیت زیادی از نظر پزشکی دارند از هم جدا می شوند. به این ترتیب لیپوپروتئینهای پلاسما بر اساس قابلیت حرکت آنها در الکتروفورز در PH برابر ۸/۶ تحت عنوان لیپوپروتئینهای آلفا - یک، آلفا - دو یا بتا یا بر اساس رسوب در اولتراسانتریفوژ به گروههای شیلومیکرون VLDL ، LDL ، HDL یا VHDL تقسیم می شوند.

همچنین می توان لیپوپروتئینها را بر اساس خواص ایمنولوژیک آپوپروتئینهای موجود در آنها (A ، B ، C ، D ، E ، F) تقسیم کرد و نیز می توان پروتئینها را بر اساس ساختمان سه بعدی آنها که عمدتاً با روش کریستا لوگرافی که با اشعهٔ X تعیین می شود، تقسیم کرد. به عنوان مثال، پروتئینهایی که به نوکلئوتیدها اتصال می‌یابند در ساختمان سوم خود دارای ناحیه اتصالی به نوکلئوتید هستند.

دو نوع اصلی از پیوندهای کووالانی (درون مولکولی) در پروتئینها وجود دارد. اولین نوع، پیوند پپتیدی است که واحدهای اسید آمینه را به صورت ترتیب اولیه به هم متصل می کند. دومین نوع، پیوند دی‌سولفیدی است که بین گروههای SH- و دو باقی ماندهٔ سیستئین به وجود می آید و مسئول ایجاد بعضی از جنبه های ساختمان سوم است. انواع مختلفی از کنشهای متقابل ضعیف در برقراری ساختمانهای دوم و سوم اهمیت دارد. همه این پیوندهای ضعیف

غیر کووالانی (بین مولکولی) می باشد که انواع مهم آنها قبلاً شرح داده شده است. اختلاف اساسی بین یک پیوند کوالان و غیر کوالان در مقدار انرژی لازم برای شکستن پیوند است. برای مثال یک پیوند هیدروژنی فقط به ۴/۵ کیلوکالری بر مول در مقایسه با ۱۱۰ کیلوکالری بر مول برای پیوند کووالان H ـ O در آب، انرژی احتیاج دارد. پیوندهای کووالان عموماً به وسیله دخالت آنزیمها می شکنند. در صورتی که پیوندهای غیر کووالانی به سادگی توسط نیروهای فیزیکو ـ شیمیایی جدا می شوند.

ساختمان پروتئینها

تمامی پروتئینها دارای چهار یا حداقل سه ساختمان هستند. این ساختمانها عبارتند از:

ساختمان اول ـ توالی اسیدهای آمینه را ساختمان اول پروتئین می نامند. ساختمان اول همان ساختمان شیمیایی پروتئین است که از ایجاد پیوند کووالان میان اسیدهای آمینه حاصل می شود که مهمترین و اختصاصی ترین ساختمان پروتئینها می باشند و از برخی لحاظ مشخص کنندهٔ ویژگیهای ساختمان دوم و سوم پروتئینها هستند.

تجمع واحدهای پروتئینی دارای ساختمانهای دوم و سوم، ساختمان چهارم پروتئینها را می سازند. در ساختمان نخستین پروتئینها، علاوه بر پیوندهای پپتیدی که نوع اساسی اتصال است اتصالهای دیگری نیز نظیر پیوندهای دی سولفید(S ـ S) می تواند وجود داشته باشد.

ساختمان دوم ـ ساختمان دوم همان نظم در یک بعد و یا نظم محلی است. مشخصهٔ ساختمان دوم پروتئین، حضور مارپیچ آلفا و صفحات بتا است. فرم بتا نسبت به فرم آلفا دارای استحکام بیشتری می باشد و به همین دلیل در ساختمان بافتهایی که استحکام زیادی دارند فراوان است.

از سوی دیگر فرم آلفا که حالت ناپایداری دارد، در ساختمانهایی که دارای فعالیتهای زیستی بیشتری هستند و نیاز به تغییر شکلهای زیادتری دارند(از جمله آنزیم و ستیوکروم) فراوان است. علاوه بر نیروهای نگهدارندهٔ ساختمان اول پروتئین انواع دیگری از اتصالها، نظیر پیوندهای هیدروژنی نیز می تواند وجود داشته باشد.

ساختمان سوم ـ ساختمان سوم پروتئین نحوهٔ چین خوردگی یا خمیدگی زنجیری پلی پپتیدی در وضع سه بعدی را مشخص می سازد. که در واقع همان ساختمان فضای پروتئین می باشد. وقتی در ساختمان پلی پپتیدی، علاوه بر ساختمان منظم اول و دوم بخشهای تصادفی و بی نظم نیز وجود داشته باشد و مولکول دارای ساختمان سه بعدی گردد، پروتئین، دارای ساختمان سوم می شود. عامل پایدار کننده این بنای فضایی، برهمکنشهای ضعیف نظیر پیوندهای هیدروژنی، برهمکنشهای هیدروفوب و برهمکنشهای الکتروستاتیک و نیروهای واندروالس است. این برهمکنشهای ضعیف در کنار یکدیگر قرار گرفته و ساختمان سوم پایداری را ایجاد می کند. معمولاً ساختمان سوم، ساختمان فعال پروتئین است.

ساختمان چهارم ـ بر خلاف ساختمان اول ، دوم و سوم که به طور معمول از یک زنجیرهٔ پلی پپتیدی تشکیل می شود، ساختمان چهارم از دو یا چند زنجیر ساخته شده است. این زنجیره‌ها ممکن است یکسان و یا متفاوت باشند، در هر دو حال زنجیره‌ها به وسیله پیوندهای ضعیفی به هم متصل می شوند. اتصال بین زنجیره های پلی پپتیدی در ساختمان چهارم پروتئینها، بسیار اختصاصی است و تنها بین دو نیمه مولکول (مولکول های نصف شده) می‌تواند صورت پذیرد. بسیاری از آنزیمها و همچنین پروتئینهای دیگری که وزن مولکولی بیش از ۵۰۰۰۰ دالتون دارند احتمالاً دارای ساختمان چهارم می باشند. به عنوان مثال آلدولاز با وزن مولکولی ۱۵۰۰۰۰

دالتون یکی از پروتئینهایی است که می تواند در PH ضعیف به دو زیر واحد ۵۰۰۰۰ دالتونی تقسیم شود. در PH خنثی دو زیر واحد می توانند دوباره به هم چسبیده و به وضع اول برگردند، نیروی نگهدارندهٔ ساختمان چهارم، همان برهمکنشهای ضعیف ساختمان سوم است. گاهی پیوند دی‌سولفیدی نیز در ساختمان چهارم حضور دارد.

آنزیم ها

آنزیمها مواد پروتئینی هستند که قادرند سرعت واکنشهای بیوشیمیایی را تا حدود چندین میلیون بار افزایش دهند. به همین مناسبت آنها را کاتالیزورهای حیاتی می‌نامند. به طور کلی خواص کاتالیزورهای آنزیمی را به صورت زیر می توان خلاصه نمود.

۱ ـ سرعت واکنش های کاتالیز شده توسط آنزیمها بسیار زیادتر از سرعت واکنش بدون آنزیم است.

۲ ـ آنزیمها به مقدار کم، مقادیر زیادی از ترکیبات بیوشیمیایی را تغییر می دهند.

۳ ـ آنزیمها معمولاً یک یا تعداد معدودی از واکنشها را تسریع می کنند.

۴ ـ آنزیمها در انتهای واکنش بدون تغییر باقی می مانند.

۵ ـ آنزیمها در مقدار کل انرژی یک واکنش بی تأثیرند.

آنزیمها دربارهٔ واکنشهایی که برای سرعت دادن بر می گزینند و واکنشهایی که کاتالیز نمی‌کنند به نحو عالی قدرت انتخاب دارند. تنها اختلاف آنزیمها با پروتئینها، نحوهٔ عمل بیولوژیکی آنها می باشد. بدین معنی که به علت داشتن ساختمان مخصوص سه بعدی و دارا بودن عوامل فعال اسیدهای آمینه که در قسمتهایی از مولکول مجتمع شده اند، دارای

خواص ویژهٔ آنزیمی می باشند. بنابراین ساختمان سه بعدی آنزیمها را می توان یکی از شرایط لازم برای فعالیت آنزیمی دانست. عوامل تغییر دهندهٔ ساختمان سه بعدی آنزیم، مانند حرارت و تغییرات زیاد PH، قادر هستند فعالیت آنزیمی را متوقف سازند.

هر سلولی در هر گونه ، همهٔ آنزیمهای کشف شده را دارا نمی باشد. بسیاری از آنزیمها کاملاً تخصص یافته اند و تنها در گونهٔ ویژه ای از باکتریها یا قارچها یافت می‌شوند. نخستین آنزیمی که به شکل تخلیص شده و متبلور به دست آمد ، اوره آز بود که در سال ۱۹۲۶ به وسیله سامنر در آمریکا به دست آمد. از آن وقت تا به حال صدها آنزیم تخلیص شده و به صورت بلورهایی جدا گشته اند.

معلوم شده است که همه آنزیم‌ها پروتئینی می‌باشند، گرچه بسیاری از آنها مواد غیر پروتئینی مانند یونهای فلزی یا نوکلئوتیدهای مربوط به خود را در بردارند. آنزیمها همانند پروتئینها دارای ساختمانی منظم هستند و می توانند به صورت کریستال در آیند که این کریستالها قادرند باعث ایجاد تفرق در اشعهٔ الکترومانیتیک گردند. به نحوی که از این تغییرات می توان به ساختمان آنزیم پی برد. این بلورها خاصیت کاتالیتیکی آنزیم را نیز حفظ می کنند.

آنزیمها مانند سایر پروتئینها،دناتوره می گردند . که این پدیده باعث در هم ریختن ساختمان پروتئین آنزیم می گردد. دناتوراسیون ممکن است توسط حرارت و یا حلالهای شیمیایی انجام گردد. در این حال ساختمان غیرکووالانس پروتئینی در هم می ریزد و آنزیمهای دناتوره قابلیت کاتالیتیکی خود را از دست می دهند.

اثر غلظت آنزیم و سوبسترا بر واکنش آنزیمی

غلظت سوبسترا و آنزیم به طور مستقیم در سرعت واکنش آنزیمی دخالت دارند.

در شکل ۱ـ۳ اثر غلظت آنزیمی در واکنشهای مختلف آنزیمی نشان داده شده است. در این شکل مقدار سوبسترای تبدیل یافته بر حسب زمان در چهار واکنش مختلف آنزیمی نشان داده شده است. این واکنشها همگی با مقادیر مازاد سوبسترا انجام گرفته است.

نمودار ۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ مربوط به چهار واکنش آنزیمی است که در هر یک غلظت آنزیم به ترتیب افزایش یافته است. همان طور که ملاحظه می شود مقدار سوبسترای تغییر یافته در هر زمان برای غلظتهای بیشتر آنزیم زیادتر است. اثر غلظت سوبسترا نیز به همین ترتیب است. بدین معنی که در غلظتهای ثابت آنزیم، سرعت واکنش آنزیمی نسبت مستقیم با غلظت سوبسترا دارد.

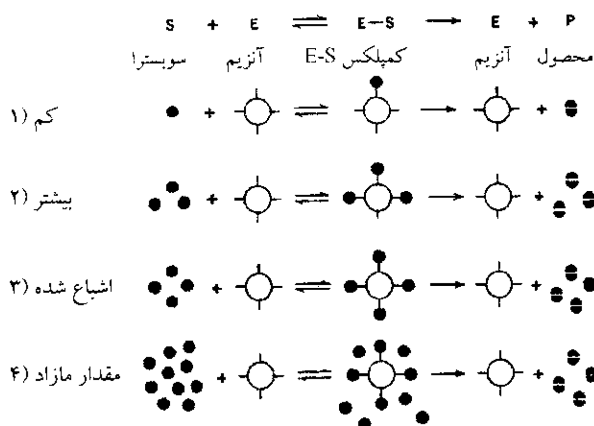
هر چه مقدار سوبسترا برای مقدار آنزیم معینی بیشتر گردد سرعت واکنش آنزیمی زیادتر می شود. خلاصه اثر غلظت سوبسترا و آنزیم :



$$E + S \Leftrightarrow ES \rightarrow E + P$$

ES معروف کمپلکس آنزیم و سوبسترا است. تجربیات نشان داده است که قبل از مرحله ایجاد محصول واکنش آنزیمی این کمپلکس ایجاد می گردد.

هر چه آنزیم مقدار بیشتری از سوبسترا را به خود جذب نماید، سرعت واکنش به حداکثر می رسد و چنانچه با مقادیر بیشتر سوبسترا ترکیب شود سرعت از حد معینی بالاتر نمی رود و در حد سرعت ماکزیمم می ماند.



شکل ۱-۳

منحنی ۲ ـ ۳ که به نام منحنی اشباع موسوم است،بیان کنندهٔ اثر غلظت سوبسترا بر فعالیت آنزیمی است. منحنی نشان می دهد که سرعت واکنش به ازاء مقادیر بیشتر سوبسترا افزایش می یابد. به عبارتی آنزیم در حد ماکزیمم فعالیت خود عمل می کند و سرعت آنزیمی در هر دو مورد به حداکثر رسیده است. منحنی زیر از رابطه میکائیلیس و منتون پیروی می کند.

رابطه میکائیلیس و منتون به این قرار است که:

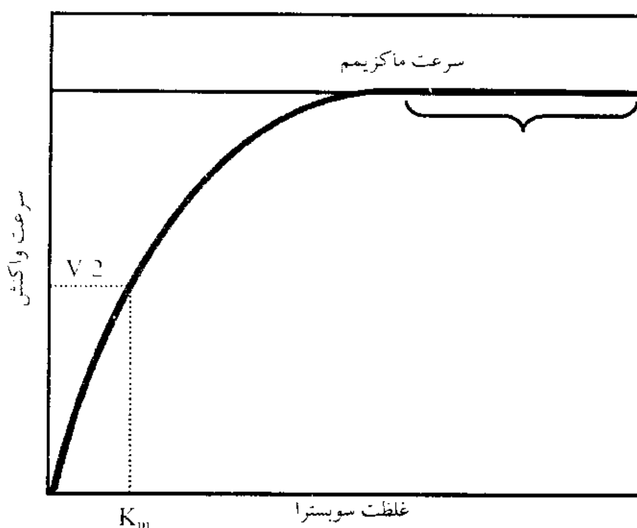
$$v_0 = \frac{v_{\max}\,[S]}{K_m + [S]} \qquad ۳_۱$$

در این رابطه v_0 سرعت واکنش به ازای هر مقدار از سوبسترا، $v_{\max}$ سرعت واکنش در حد ماکزیمم و S غلظت سوبسترا بر حسب مولکول گرم در لیتر و K_mبه نام ضریب میکائیلیس منتون موسوم است. چنانچه مقدار S افزایش یابد صورت و مخرج کسر با تقریب خلاصه شده و سرعت مساوی سرعت ماکزیمم می گردد یا $v = v_{Max}$ می گردد. اگر سرعت نصف سرعت ماکزیمم شود $v = \frac{1}{2} v_{Max}$ و به جای آن، مقدارش بر حسب سرعت ماکزیمم در رابطه قرار گیرد K_mمساوی مقدار سوبسترا به دست می آید.

$$K_m + (s) = 2 \times (s) \text{ و } k_m = s \qquad ۳_۲$$

$$\frac{v_{Max}}{2} = \frac{v_{Max}(s)}{K_m + (s)} \qquad ۳_۳$$

ثابت میکائیلیس و منتون K_m در شیمی آنزیمی دارای اهمیت خاصی است. در درجه حرارت و PH ثابت، کمیت K_m مشخص کننده میل ترکیبی آنزیم و سوبسترا است. هر قدر مقدار K_m بزرگتر باشد، درجهٔ میل ترکیبی آنزیم و سوبسترا کمتر و در نتیجه سرعت واکنش کمتر خواهد بود . بر عکس مقادیر کم K_m مشخص کنندهٔ میل ترکیبی بیشتر آنزیم و سوبسترا می باشد. مقدار K_m را می توان به طور تجربی از منحنی اشباع آنزیمی بالا به دست آورد . برای اینکار لازم است مقدار سوبسترایی که سرعتی برابر نصف سرعت ماکزیمم ایجاد می کند، به دست آورد. در این صورت مقدار عددی سوبسترا مساوی مقدار K_m خواهد بود.



شکل ۲-۳ منحنی اشباع آنزیمی

عوامل مؤثر بر فعالیتهای آنزیمی

PH

فعالیت آنزیمها بستگی مستقیم به تغییرات PH محیط دارد. جایگاه فعال آنزیمی معمولاً از عوامل مختلف ریشه های اسیدهای آمینه ای تشکیل شده است که یا مستقیماً در

کاتالیز آنزیمی وارد می شوند و یا در ساختمان جایگاه فعال شرکت می‌کنند. بنابراین یونیزاسیون آنها در فعالیت آنزیمی مؤثر است. از طرف دیگر یونیزاسیون سوبسترا نیز در فعالیت آنزیمی دخالت دارد. برای اندازه گیری و تعیین PH اپتیمم آنزیمی ، یعنی PH مناسبی که آنزیم دارای حداکثر فعالیت خود است، منحنی سرعت اولیه آنزیمی برحسب PH رسم می شود. در این مورد از روی منحنی در مواردی می‌توان تا حدودی تشخیص داد که چه عواملی در جایگاه فعال آنزیمی دخالت دارند. البته باید در نظر داشت که دناتوراسیون آنزیم در PH های مختلف در تغییرات فعالیت آنزیم بر اساس PH دخالتی نداشته باشد.

همه‌آنزیمها یک PH دارند که در آن سریعتر کار می کنند و تغییرات جزئی در PH ، کاستیهای آشکاری در فعالیت کاتالیزوری به بار می آورد. با اندازه گیری فعالیت آنزیم در مقادیر مختلف PH، مشخص می شود که فعالیت بهینه آنزیم در PH بین ۵ تا ۹ قرار دارد. البته بعضی از آنزیمها مانند پپسین نیز در مقادیری از PH که کاملاً خارج از محدودهٔ فوق قرار دارد فعال می باشد. با تغییر PH ممکن است تغییر شکل فضایی نیز در ساختمان آنزیم ایجاد شود. ممکن است یک گروه دارای بار الکتریکی که در قسمت دیستال ناحیه اتصال سوبسترا قرار دارد، برای حفظ ساختمان سوم یا چهارم فعال آنزیم ضروری باشد. با تغییر بار الکتریکی این گروه پروتئین یا در هم فرو می رود یا به پروتومرهای خود تجزیه می شود، که تمام این حالات باعث از بین رفتن فعالیت آنزیم می شود. بر حسب شدت تغییرات فوق ممکن است با بر گشت PH به وضعیت بهینه، فعالیت آنزیم به حالت طبیعی باز گردد یا طبیعی نشود.

درجه حرارت

سرعت اغلب واکنشهای شیمیایی در اثر بالا رفتن درجه حرارت افزایش می یابد. انرژی حرارتی که در افزایش درجه حرارت به مولکولها منتقل می گردد باعث می شود که انرژی جنبشی مولکولها بالا رفته و تصادمات مولکولی افزایش یابد. به همین سبب تعداد تصادمات که منجر به ایجاد محصول واکنش می گردد، در واحد زمان افزایش می یابد. مولکولهای آنزیم نیز که دارای ساختمان منظمی می باشند در واکنشهای خود با مولکول سوبسترا در جایگاه فعال به همین ترتیب عمل می‌کنند. با این تفاوت که ساختمان مولکول آنزیم پیچیده تر از مولکولهای ساده شیمیایی است و ممکن است در اثر افزایش درجه حرارت دناتوره شود و ساختمان سه بعدی خود را که لازمه فعالیت آنزیمی است از دست بدهد. ساختمان سوم آنزیمها با پیوندهای ضعیف به یکدیگر متصل شده است. این پیوندها قادرند مولکولهای آنزیمی را در محلول در وضع فضایی ثابتی نگهدارند به طوری که در مولکولهای بلوری آنزیم خالص که از محلولهای آنزیمی به دست آمده است، عوامل مختلف ساختمانی با دقت خاصی در کنار هم جایگزین شده اند به گونه‌ای که بعضی از عوامل جایگاه فعال در مولکولها در حدود مقایسهٔ آنگستروم با یکدیگر اختلاف ندارند. بدین ترتیب افزایش درجه حرارت تا زمانی قادر است موجب افزایش فعالیت آنزیمی گردد که عوامل مختلف ساختمان سه بعدی آنزیم دستخوش تغییراتی نگردیده باشند.

از آنجا که لازمه افزایش سرعت واکنش آنزیمی، افزایش سرعت تصادمات بین مولکول آنزیم و سوبسترا است، چنانچه بالا رفتن درجه حرارت، اختلالی در کمپلکس آنزیم و سوبسترا ایجاد کند، سرعت واکنش آنزیمی در این درجه، افزایش نیافته و با افزایش درجهٔ حرارت،سرعت کاهش می یابد.

بر حسب تعریف ، درجه حرارتی را که آنزیم بالاترین مقدار فعالیت خود را داراست درجه حرارت اپتیمم آن آنزیم می گویند. برای به دست آوردن درجه حرارت اپتیمم کافی است تغییرات سرعت واکنش آنزیمی بر حسب درجه حرارت رسم شود. درجه حرارت اپتیمم نسبت مستقیم به زمان اندازه گیری سرعت دارد. بنابراین درجه حرارت اپتیمم حقیقی، درجه حرارتی است که در تمام طول مدت آزمایش در سرعت واکنش آنزیمی بدون تأثیر باشد.
عوامل فیزیکی مانند PH و قدرت یونی قادرند مقاومت آنزیم را در مقابل حرارت تغییر دهند. به طور کلی آنزیمهایی که دارای وزن مولکولی زیاد هستند نسبت به افزایش حرارت حساس تر و آنزیمهایی با وزن مولکولی کمتر که از یک رشتهٔ پلی پپتیدی ساخته شده اند از نظر حرارتی مقاومترند. در هر حال خلوص آنزیم هم در پایداری آنزیم مؤثر است. بدین صورت که هر چه آنزیم خالص تر باشد نسبت به تغییرات عوامل محیطی حساس تر است. آنزیمها در عصاره سلولی خود دارای مقاومت بیشتری می باشند، با این شرط که آنزیمهای پروتئولیتیک در محیط موجود نباشد.

ساختار فضایی و پیوندهای فیزیکی آنزیم

آنزیمها نیز همانند پروتئینها از واحدهای اسیدهای آمینه تشکیل شده اند که با پیوند کووالان به هم متصل می باشند. یک رشته پپتیدی از اسیدهای آمینه ای تشکیل شده است که با پیوند کووالان به یکدیگر اتصال دارند. چنانچه این رشته پپتیدی از تعداد ۱۰ اسید آمینه و یا بیشتر تشکیل شده باشد به نام رشته پلی پپتیدی نامیده می شود. مولکولهای آنزیمی نیز از یک رشته و یا چندین رشته پلی پپتیدی تشکیل شده اند. وزن مولکولی آنزیمها بر حسب تعداد

مولکولهای اسید آمینه در یک رشته پلی پپتیدی و تعداد رشته پلی پپتیدی متفاوت است. پروتئینها در محلولهای قلیایی و یا اسیدی قوی تجزیه شده و به اسیدهای آمینه تشکیل دهندهٔ خود تبدیل می گردند.

اسیدهای نوکلئیک

ساخت پروتئینهای ویژه (خصوصاً آنزیمها) فعالیت اساسی سلول است. این ساخت با انتقال اطلاعاتی که منبع آن در ماده ای به نام مادهٔ وراثتی وجود دارد رهبری می شود.
اطلاعات ژنتیکی موجود در DNA به صورت RNA نسخه برداری می شود که به نوبهٔ خود به پروتئینها ترجمه می گردد. اسیدهای نوکلئیک پلی مرهای خطی نوکلئوتیدها می باشند که به وسیله پیوند فسفودی استری به یکدیگر متصل شده اند. مونومرهای نوکلئوتیدی از پیوند کووالان یک فسفات، یک باز و یک جزء پنتوزی به وجود می آیند.

ساختار اسید نوکلئیک

مولکول DNA از دو زنجیر موازی نا همسوی پلی نوکلئوتیدی که حول محوری مرکزی، مارپیچ مضاعفی را تشکیل می دهد ساخته شده است. بازهای آلی به علت خاصیت هیدروفوب در داخل مارپیچ DNA به صورت عمود بر محور آن روی یکدیگر قرار گرفته اند و دو رشته به وسیله پیوندهای هیدروژنی که بین جفتهای بازی به وجود می آیند کنار هم نگهداشته شده اند. تنها جفتهایی که به وجود می آیند AT با دو پیوند هیدروژنی و CG که با سه پیوند هیدروژنی به یکدیگر نگهداشته شده اند،می‌باشند. جفت اخیر پایدارتر است. خاصیت جفت شدن بازها به طریقی است که ترتیب محوری یک رشته هر چه باشد ترتیب رشتهٔ دیگر باید کاملاً مکمل آن گردد.

نیروهای شکل دهنده و پایدار کنندهٔ ساختمان DNA

مهمترین این نیروها عبارتند از:

۱ـ نیروی یونی یا الکتروستاتیک: که در اثر وجود بار الکتریکی در مولکول ایجاد می گردد و گروههای فسفات با بار الکتریکی منفی، با گروههای مثبت اسید آمینهٔ پروتئینها بر هم کنش یونی برقرار می کنند.

۲ـ نیروی مربوط به پیوند هیدورژنی بین جفت بازها

۳ـ نیروی واندروالسی مربوط به صفحه‌ای بودن بازها که نیرویی عمودی است و زمانی که بازها در فاصله شعاع واندروالسی قرار می گیرند ایجاد می شود.

۴ـ نیروی هیدروفوب(آب گریز): این نیرو در DNA ضعیف است.

چهار نیروی بالا ضعیف هستند و در پایداری و شکل گیری مولکول DNA و تشکیل ساختمان دوم تا چهارم دخالت می کند. پیوندهای کووالانسی که بین اتمهای مولکول DNA وجود دارد نیز مهم است که مربوط به نیروهای قوی بوده و در تشکیل ساختمان اول دخالت دارد. بین نوکلئوتید ها پیوند های فسفودی‌استر وجود دارد که جزء پیوندهای کووالانسی است که از نوع پیوندهای قوی می‌باشد و برای جدا شدن نیاز به انرژی زیادی دارند.

ساختمان DNA

بسیاری از پروتئینها به دلیل دارا بودن چند زیر واحد دارای ساختمان چهارم هستند. در صورتی که در اسیدهای نوکلئیک تنها سه ساختمان مطرح است و به جزء در موارد نادر ساختمان چهارم دیده نمی شود.

ساختمان اول شامل ترادف نوکلئوتیدی، ساختمان دوم، همان ساختمان دو رشته‌ای است و ساختمان سوم مربوط به ساختمان فراپیچیده یا سوپرکویل است. ساختار فراپیچیده یا

سوپرکویل DNA در اثر ایجاد فشار، اتصال برخی از پروتئینها از جمله توپوایزومرازها، هیستونها، داروها و شرایط خاص دیگری ایجاد می گردد. ایجاد سوپر کویل در DNA بعد از مارپیچ دو رشته ای ایجاد می شود.

سوپرکویل را با دو علامت مثبت و منفی برای راست گرد و چپ گرد بودن نشان می‌دهند. در هنگام چپ گرد، عدد پیچش مولکول DNA کاهش می یابد و در هنگام راست گرد عدد پیچش افزایش می یابد. درجه سوپرکویل باچگالی سوپرکویل را از رابطه :

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \qquad ۳_۴$$

به دست می آورند که در آن L_0 ،تعداد پیوندهای یک رشته با رشته دیگر DNA حلقوی ریلکس و L ، تعداد پیوند های یک رشته با رشتهٔ دیگر در سوپرکویل می باشد.

چگالی سوپر کویل در DNA یک پدیدهٔ خود به خودی با ثابت تعادل بیش از ۱۰ است. قوانین ترمودینامیک برای سوپرکویلها محدودیت ایجاد می نماید. همچنین در نواحی از DNA که دناتوراسیون محلی صورت می گیرد تشکیل سوپرکویل منفی محدود می گردد.

DNA دارای خصوصیاتی می باشد که از جملهٔ آنها می توان به چندین مورد اشاره کرد:

۱ ـ DNA به صورت دو رشته است.

۲ ـ چرخش یک رشته، پیرامون رشتهٔ دیگر به صورت راست گرد است.

۳ ـ دو رشته [illegible] نوکلئوتیدی غیر همسو هستند.

۴ ـ در هر دور [illegible] متوسط ده جفت باز وجود دارد.

۵ ـ بازها با یکدیگر [illegible] ایجاد می کنند.

ساختمان DNA دارای انواع متفاوتی است که به وسیلهٔ کریستالوگرافی اشعهٔ X اشکال فضایی مختلف DNA مشخص می گردد که به فرمهای B ، A ، Z ، H ، G و I وجود دارد که اختلاف در ساختمان به دلیل تغییر در میزان آب محیط ایجاد می شود و هر یک توسط یک پارامتر از دیگری قابل تشخیص است.

خواص فیزیکی DNA

وزن مولکولی

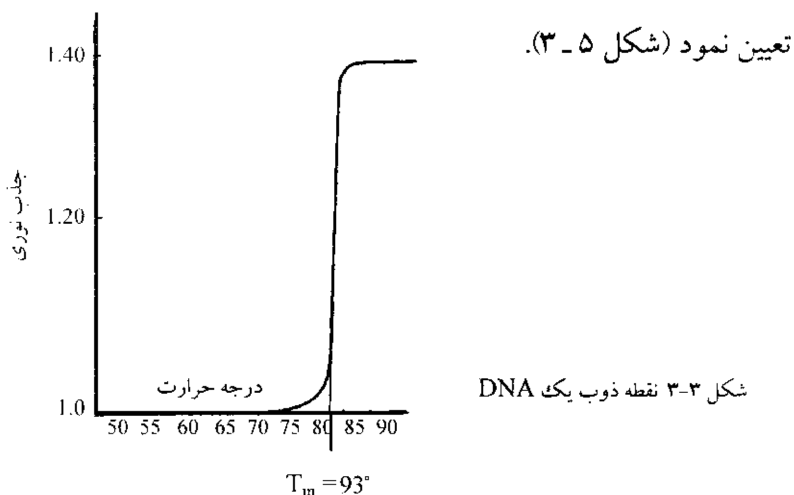
از آنجا که DNA در خارج از سلول، مولکولی ناپایدار است و به سرعت تحت تأثیر عوامل مختلف و یا آنزیمها تجزیه شده و به قطعات کوچک تبدیل می گردد، اندازه گیری وزن مولکول با روشهای معمولی دارای دقت لازم نخواهد بود. برای تعیین وزن مولکولی DNA از روشهای دقیق تری با بکار بردن مواد رادیواکتیو استفاده می شود.

سلول مورد مطالعه را در محیطی که حاوی تیمیدین نشان داراست قرار می دهند (چون تیمیدین یکی از مواد اولیه سنتز DNA می باشد). پس از جدا نمودن DNA از این سلولها با روش اتورادیوگرافی و با استفاده از میکروسکوپهای قوی، می توان طول تصویر DNA را بر روی فیلم عکاسی اندازه گیری نمود. چون طول یک نوکلئوتید برابر A^0 ۳/۴ است و وزن مولکوی نوکلئوتید ها نیز مشخص می باشد می توان وزن مولکولی یک DNA را تخمین زد. به شرط آنکه مولکول DNA کامل بوده و قطعه قطعه نشده باشد.

طیف نوری تغییر ماهیت و نقطه ذوب

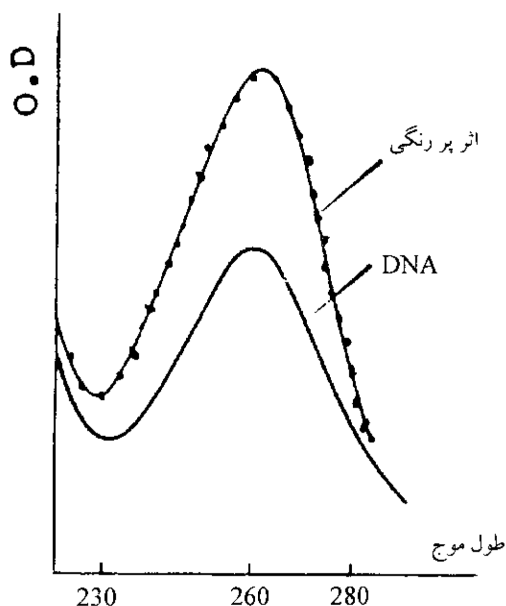
حداکثر جذب نوری DNA در طول موج ۲۶۰ نانومتر می باشد. اگر محلول DNA حرارت داده شود در یک درجه حرارت معینی جذب نوری به طور ناگهانی افزایش می یابد. این درجه حرارت را به علت شباهت با درجه حرارت ذوب کریستالها نقطهٔ ذوب DNA نامیده و با علامت T_m نشان می دهند. پدیدهٔ افزایش جذب نوری را نیز پر رنگی[1] می نامند(شکل ۳ ـ ۳). در این درجه حرارت پیوندهای هیدروژن بین دو مارپیچ DNA گسسته شده و DNA تغییر ماهیت می دهد. زیرا زنجیرهای مکمل از یکدیگر جدا شده و DNA ساختمان مارپیچی خود را از دست داده است(شکل ۴ ـ ۳).

از آنجایی که پیوند بین C و G در مقایسه با پیوند A و T دارای استحکام بیشتری است بنابراین نقطهٔ ذوب DNA های مختلف متناسب با مقدار C+G می باشد. برای مثال اگر در یک DNA فقط A+T وجود داشته باشد. $T_m = 70^0$ و اگر DNA فقط حاوی C+G باشد T_m=110 خواهد بود. بدین ترتیب با اندازه گیری نقطه ذوب یک DNA می توان نسبت $\frac{A+T}{C+G}$ را تعیین نمود (شکل ۵ ـ ۳).

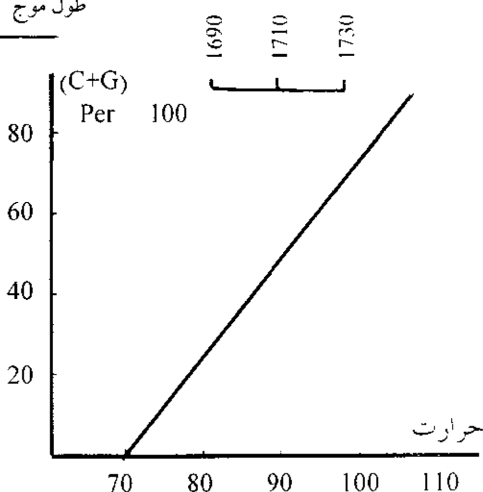


شکل ۳-۳ نقطه ذوب یک DNA

1- Hyperchomic Effect



شکل ۴-۳ طیف جذب نوری یک DNA و افزایش جذب نوری در اثر حرارت.



شکل ۵-۳

وزن مخصوص

در مطالعه وزن مخصوص DNA با روش اولتراسانتریفوژ مشاهده می‌شود که وزن مخصوص یک DNA با مقدار درصد C+G متناسب می باشد (شکل۵-۳). زیرا وجود سه پیوند هیدروژن بین G و C موجب فشردگی و تراکم بیشتر مولکولی و در نتیجه افزیش ظاهری وزن مخصوص DNA می گردد.

تخلیص و ساختار ماکرومولکولها

روشهای تجزیه می توانند از انحلال پذیری تفاضلی درشت مولکولها در محلولهای مختلف، مثلاً محلولهای نمکی با قدرت های مختلف یا درحلالهای آلی (الکل یا استن) استفاده نمایند؛ و نیز از پایداری متفاوت پروتئین ها در برابر اسیدها و قلیاها، تحرک متفاوت پروتئین‌ها تحت میدان های گرانشی و الکتریکی (گریز از مرکز و الکتروفورز) و توانایی برخی مواد در جذب بعضی پروتئین ها و نه پروتئین های دیگر (کروماتوگرافی) بهره گیرند. به برخی از این روشها به اختصار اشاره می شود.

بعضی از رزینهای مصنوعی و برخی مواد مانند سلولز و آلومینیوم هیدروکسید وقتی با محلول حاوی یونهای باردار تکان داده شوند، میل دارند یونها را از محلول به طرف خود بکشند و آنها را به خود وابسته سازند.

اگر رزین در یک استوانهٔ شیشه ای فشرده باشد و محلول در بالای ستون رزین ریخته شود، مایعی که در ته استوانه پدیدار می شود عملاً از ماده محلول عاری است. این اصل مبنای ساختمان برخی وسایل خانگی سبک کننده آب سنگین است. اگر محلول پروتئین بکار رود، پروتئین ها به ستون وابسته می شوند. ولی می توان با مقادیر فزاینده آب یا محلول نمک ، آنها را دوباره از ستون شست. این اصل را کروماتوگرافی می نامند. هر پروتئین که ستون را به طرف پایین طی می کند ، بسته به غلظت و PH محلول مورد استفاده برای شستن آن، با سرعتی مشخص کننده پیش می رود. بدین گونه پروتئین های مختلف موجود در آمیزه اولیه، یکی پس از دیگری به ته ستون می رسند و اگر محلولی که از ستون بیرون می آید، در لوله های

جداگانه، هر بار چند قطره جداگانه جمع آوری گردد، برخی از لوله ها حاوی یک پروتئین و برخی حاوی پروتئین دیگری خواهد بود. بدین طریق جدا سازی پروتئین ها ممکن می گردد. این روش ظریف نخستین بار به وسیله یک گیاه شناس روسی به نام تسوئت[1] جهت جدا کردن مواد رنگی مختلف موجود در رنگیزه های گیاهی بکار برده شد. پیشرفت های جدید کروماتوگرافی، تفکیک پروتئین ها را تنها بر اساس بار یونی مولکول، بلکه شکل و اندازه آن را امکان پذیر می‌سازد.

پالایش ژل امکان می دهد که مولکولها از یکدیگر جدا شوند و در همین حال برآوردی از وزن مولکولی آنها را در اختیار قرار می دهد. این روش عبارت است از عبور دادن محلولی از درشت مولکولها از خلال ستون شیشه پر از ماده ای ژل مانند، مرکب از دانه‌های کوچک ماده متخلخل. ماکرومولکولها به آسانی از ستون می گذرند زیرا نمی‌توانند وارد روزنه های دانه ها شوند. اما مولکولهای کوچکتر می توانند در روزنه‌های ژل نفوذ کنند و بنابراین مسیری پر پیچ و خم و طولانی تر از میان ستون را در پیش گیرند. اگر محلولی از ماده ای با وزن مولکولی معلوم نیز از ستون عبور داده شود، بر آوردی از وزن مولکولی ماکرومولکولهای جدا شده را می تواند با مقایسه سرعت عبور و شسته شدن مواد بدست آورد. وزن مولکولی را همچنین به وسیله فریند معروف به الکتروفورز ژل اگر در حضور زوایای SDS (سدیم دو اسیل سولفات) انجام گیرد، می توان به دقت تعیین کرد. زوایا به ماکرومولکولها وابسته می شود و آنها را دارای بار منفی می سازد. اگر از ژل حاوی این ماکرومولکولها جریان الکتریکی بگذرد، آنها به سوی الکترود مثبت مهاجرت می کنند. سرعت پیشرفت آنها به اندازه ماکرومولکولها بستگی

---

1 - Tswett

دارد و می تواند با تحرک الکتروفورزی ماده ای با وزن مولکولی معلوم مقایسه گردد. مرحلهٔ بعدی پس از جدا کردن یک ماکرومولکول و بدست آوردن یک نمونهٔ خالص، تلاش برای تعیین شکل آن است. بخصوص در مورد پلی ساکاریدها این کار را می توان به وسیله رفتار آنها در محلول انجام داد.

محلولهای دارای شکلهای متفاوت در خواصی مانند چسبندگی، که به شکل ویژهٔ مولکول مورد بررسی بستگی دارد، تفاوت دارند.

پراش پرتو ایکس، روشی به مراتب دقیق تر برای تعیین شکل است زیرا توانایی تمیز و تشخیص بین اتم های موجود در یک ماکرومولکول را دارد. نمونه ای از ماده جامد به وسیله پرتوهای ایکس بمباران می شود و پرتوها با برخورد به اتم ها پراکنده می شوند. اگر این پرتوهای پراش یافته به سوی یک صفحهٔ عکاسی هدایت شوند، الگویی ظاهر خواهد شد که مستقیماً با موقعیت و توزیع اتمها در داخل مولکول مطابقت دارد.

آخرین مرحله برای تعیین ساختار ماکرومولکولها تنها با تجزیه مولکول به اجزای سازنده اش امکان پذیر است. این کار امکان می دهد که سازنده های آن شناخته شوند و توالی آنها و ماهیت اتصالاتشان مشخص گردد. برخی خواص که در همهٔ انواع ماکرومولکولها مشترکند، می توانند از چنین تجزیه هایی بدست آیند. به نظر می رسد که همه از فردیتی برخوردارند و بسیاری از آنها قابلیت آن را دارند که به طور اختصاصی مواد دیگر را باز شناسند و با آنها به کنشی متقابل در آیند. در نهایت همه ماکرومولکولها را می توان بر حسب سلسله مراتب ساختاری ساختمان های اولین، دومین و سومین توصیف کرد.

ساختار اولین ماکرومولکولها به تعداد زیادی واحدهای ساختمانی مربوط می شود، که هر یک به طور کوالان با یکدیگر پیوند می یابند و استخوان بندی مستحکمی به کل مولکول می بخشند. ساختار دومین ، مشخص می کند که چگونه این استخوان بندی، چین خوردگی پیدا می کند و اجازه می دهد که تعداد زیادی پیوندهای ضعیف درونی بین زنجیرهای مختلف و یا اجزای متفاوت همان زنجیر تشکیل گردد. ساختار دومین بوسیله تاشدگی زنجیرها که مولکول تعیین می شود. این تاشدگی چنان است که تعداد پیوندهای هیدروژنی را که می تواند بسازد به حداکثر می رساند.

انواع دیگری از پیوند های ضعیف وجود دارند که به شکل گیری ساختار ماکرومولکول کمک می کنند ولی بحث تفصیلی از آنها در اینجا ضرورت ندارد.

ساختار سومین، روشی را نشان می دهد که این زنجیرهای دارای پیوند هیدروژنی بوسیله آن روش، روی خود پیچ می خورد تا کمپلکسی سه بعدی ایجاد نماید. انواعی از پیوندهای ضعیف و کنش های متقابل یونی بین اجزای مختلف زنجیر مولکولی دراز، آن را در ساختمانی استوار و مشخص نگه می دارد، بخشی از مولکول در آن پنهان شده که آب و مولکولهای کوچک دیگر به آنها دسترسی ندارند. در حالیکه مناطق دیگر سطحی را تشکیل می دهند و از آنجا می توانند با همه یونها و مولکولهای دیگری که در محیط میکروسکوپی زنجیر ماکرومولکول انباشته شده اند ، کنش متقابل کنند.

گر چه قدرت همهٔ پیوندهای ضعیف با هم بسیار زیاد است،هر پیوندی جداگانه انرژی کمی نیاز دارد تا شکسته و دوباره ساخته شود و این واقعیت است که به مولکولها انعطاف پذیری می بخشد. شکستن چند پیوند ضعیف شکل مولکول را بدون تغییر قابل توجهی در خواص

کلی آن، اندکی تغییر می دهد. این نوع تغییر ساختمانی همچنین می تواند سلول را به روشی برای رفع مولکولهای ناخواسته مجهز کند که عبارت است از قرار دادن نواحی درونی که قبلاً حفاظت شده بودند، در معرض حملهٔ از بین برنده.

تناقض در اینجاست که، گر چه این پیوندهای ضعیف، منبع قدرت و جنبه ضروری ساختار مولکول اند، مسئول شکنندگی مولکولها نیز هستند. زیرا پیوندها وجودشان را مرهون شرایط بسیار دقیق قدرت یونی، PH، دما و میزان حضور آب در محل تعیین شده آنها در سلول هستند. تغییر در هر یک از این عوامل می تواند باعث گسستگی پیوندها و باز شدن چین مولکول و تبدیل آن به زنجیر سادهٔ برهنه شود. این فرایند عموماً بازگشت ناپذیر است.

ویسکوزیته

مقاومت سیال در مقابل جاری شدن، توسط ویسکوزیته بیان می شود. اگر فاصله میان دو ملکول زیاد شود، نیروی جاذبه کاهش می یابد. از این رو در یک گاز که غالباً مولکولها با هم فاصله زیادی دارند جاذبه میان مولکولها تأثیر کمی بر رفتار گاز دارد. اما در یک مایع مولکولها آنقدر به هم نزدیکند که یک مولکول همیشه به وسیله تعدادی از مولکولهای مجاور جذب و به وسیله تعدادی دیگر دفع می شود. جاذبه میان مولکولهای مایع سبب می شود که در کنار هم بمانند و یکدیگر را تحت تأثیر قرار دهند.

هر گاه ویسکوزیته محلول‌ها را به منظور دستیابی به خواص مولکولهای جسم حل شده در آنها مورد مطالعه قرار دهیم، ویسکوزیته حلال خالص و ویسکوزیته محلولهایی با غلظتهای گوناگون به دست می آید.

اگر حلالی با وسیکوزیته η_0 وجود داشته باشد با افزایش ماکرومولکولها محلولی با ویسکوزیته η به وجود خواهد آمد با محاسبه $\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0}$ یا $\frac{\eta}{\eta_0} - 1$ به راحتی می توان در هر غلظتی تأثیر جسم حل شده بر ویسکوزیته حلال را نشان داد. خواص محلول ماکرومولکولها غالباً پیرو عمل متقابل میان ذرات جسم حل شده است. نتایج حاصل از برون یابی کمیتهای تعیین شده تا غلظت بی نهایت کم، به جای اینکه تأثیر متقابل ذرات را منعکس کند خواص فرد فرد آنها را نشان می دهد. این امر در اینجا با وارد کردن غلظت، c، بر حسب جرم واحد حجم، به جای غلظت مولی که از نظر شیمیایی متداولتر است صورت می گیرد. حال تأثیر واحد غلظت جسم حل شده بر ویسکوزیته را می توان

به صورت:

$$\frac{\frac{\eta}{\eta_0} - 1}{c}$$

بیان داشت و مقدار برون یابی شده تا غلظت بی نهایت کم با $[\eta]$ نمایش داده می شود به طوری که:

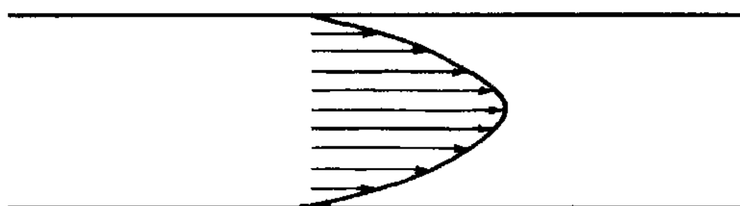
$$[\eta] = \lim_{C \to 0} \frac{\frac{\eta}{\eta_0} - 1}{c} \qquad ۳-۵$$

اگر c بر حسب گرم بر میلی لیتر باشد مقادیر $[\eta]$ به عنوان ویسکوزیته شناخته می‌شوند. به هر حال باید توجه داشت که $[\eta]$ به راستی ویسکوزیته نیست زیرا $[\eta]$ بستگی به نسبت η/η_0 دارد و بنابراین شامل واحدهای ویسکوزیته نمی شود. ویسکوزیتهٔ ذاتی محلولی از یک

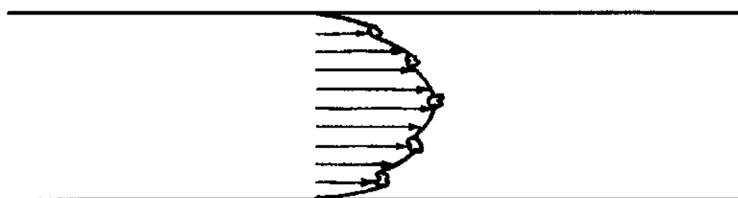
ماکرومولکول معین را برای بدست آوردن شکل یک مولکول و گاهی اوقات جرم مولکولی آن به کار می برند.

افزودن یک حل شونده ماکرومولکولی به یک حلال، همواره موجب افزایش ویسکوزیته آن می شود.نتیجهٔ فوق از نظر غلیظ شدن محلول که توأم با تشکیل چنین محلولهایی می باشد،معقول به نظر می رسد. هر چند این غلیظ شدن معمولاً در نتیجهٔ تأثیرات متقابل بین مولکولی است و ارتباطی به ویسکوزیته ذاتی ندارد.

توضیح مولکولی افزایش ویسکوزیتهٔ حاصل از افزودن ماکرومولکول‌ها، بر اساس گرادیان سرعتی که این مولکولها ایجاد می کنند قرار دارد. شکل ۶-۳ این مطلب را توضیح می دهد. ماکرومولکول و سیالی که با آن در تماس است با سرعت یکسانی حرکت می کنند. نمای هموار سرعت در شکل ۷ ـ ۳ از بین رفته و جریان از خطوطی پیروی می‌کند که بی نظم تر و شکسته ترند.



شکل ۶-۳ نمودار سرعت جریان در یک لولهٔ استوانه ای



شکل ۷-۳ گسستگی ایجاد شده توسط ماکرومولکولها.

اگر فرض شود که ملکول ها بدون چرخش در حرکت باشند سرعت در هر دو طرف ملکول یکسان خواهد

هنگامی که این روش به طور کمی مورد استفاده قرار می گیرد، کسری از حجم محلول که می توان به جسم حل شده نسبت داد، ارتباط کاملاً مستقیمی به پدیدهٔ ویسکوزیته پیدا می کند. چنانچه V_{eff} را حجم مخصوص مؤثر ماده ماکرومولکولی در محلول، یعنی حجم واحد جرم، در نظر بگیرید، در این صورت چون، جرم جسم حل شده در واحد حجم محلول است cV_{eff} حجم مؤثر جسم حل شده در واحد حجم محلول خواهد بود. بر طبق محاسبات انیشتین و سیما[1] برون یابی ویسکوزیته محلول ماکرومولکولهای کروی شکل یا بیضوی بایستی مطابق فرمول زیر باشد.

$$\lim_{C\to 0}\frac{\eta/\eta_0 - 1}{cV_{eff}} = V \qquad ۳_۶$$

V در رابطه بالا عاملی است که مربوط به شکل مولکول می شود. چنانچه V_{eff} را از عبارت برون یابی شده جدا نموده و آن را جداگانه بررسی کنید می توان نوشت:

$$\lim_{C\to 0}\frac{\eta/\eta_0 - 1}{c} = V_{eff} \qquad ۳_۷$$

$$[\eta] = V_{eff} \qquad ۳_۸$$

بنابراین، ویسکوزیته ذاتی یک جسم ماکرومولکول، بستگی به حجم مخصوص و شکل مولکولهای آن دارد.

در محلول، ماکرومولکول های مختلف ، مولکولهای حلال را در سطح خود و در حفره‌های خود نگه می دارند. چنانچه δ معرف جرمی از حلال باشد که متصل به واحد جرم جسم حل

1 - R.Simha

شده نگه‌داشته شده و V_1 حجم مخصوص حلال باشد و V_2 حجم مخصوص ماده حل شده خشک باشد می توان نوشت:

$$V_{eff} = V_2 + \delta V_1 \qquad ۳_۹$$

بنابراین معادلهٔ (۸ـ۳) به صورت زیر در می آید:

$$[\eta] = V(V_2 + \delta V_1) \qquad ۳_۱۰$$

ته نشینی

یکی از خواصی که همه مواد دارند پدیدهٔ انتشار است. عامل حرکت در انتشار، جنبش مولکولی است. همهٔ مولکولها دارای حرکت براونی اند و این جنبش مولکولی در صفر مطلق متوقف می شود. نیروی جاذبه سرعت انتشار را به طرف پایین افزایش می دهد که در این صورت پدیدهٔ ته نشینی روی می دهد. یکی از رایج ترین روشهایی که امروزه برای شناسایی ماکرومولکولها به کار می رود روش ته نشینی است. سرعت ته نشینی ذرات به عوامل زیر بستگی دارد.

۱ـ چگالی ذره ۲ـ اندازه ذره ۳ـ ویسکوزیتهٔ محیط

با استفاده از روش ته نشینی می توان شکل مولکولها و وزن مولکولی آنها را شناسایی و تغییرات ایجاد شده در آنها را مشخص نمود. ذرات معلق ماکرومولکولها در حلال مناسب تحت تأثیر جاذبه زمین با توجه به وزن و اندازه خود ته نشین می شوند. از آنجا که ماکرومولکولها دارای وزن و اندازه مختلف می باشند، بنابراین میزان ته نشینی یا رسوب گذاری در آنها متفاوت است. در نتیجه ، این تکنیک می تواند راهی مناسب برای تخلیص ماکرومولکولها باشد. گاه ته نشینی به زمان بسیار زیادی نیاز دارد و گاه عمل ته نشینی غیر ممکن می گردد. در نتیجه، جهت تسریع این عمل می توان از دستگاهی به نام سانتریفوژ استفاده کرد.

موتورهای الکتریکی بچرخند. سانتریفوژهایی وجود دارد که سرعتهایی بیش از ۲۰۰۰۰ دور در

دقیقه(rpm) ایجاد می‌کنند. در این موارد، اصطکاک موتور یا چرخان با هوا، حرارت زیادی تولید می کند که باید از سرد کننده یا یخچال استفاده شود.تحقیقات سودبرگ و همکارانش، به طراحی و ساخت سانتریفوژهایی با دور بسیار زیاد منجر شد که به اولتراسانتریفوژ موسومند و سرعت بیش از ۶۰۰۰۰ rpm با نیروی جاذبه ۱۰۰۰۰۰ g ایجاد می کنند. در این حالت چرخش مخزن لوله های سانتریفوژ (موتور) نه تنها در سرما بلکه تحت خلاء نیز انجام می گیرد. در نتیجه اصطکاک کاهش یافته و از گرم شدن دستگاه جلوگیری می شود. برای این سرعتهای زیاد حتی موتورهایی از فلزات مخصوص، ساخته شده اند که نیروی زیادی را تحمل می‌کنند. دو نوع موتور وجود دارد «angle head» و «Swinging bucket». در نوع اول، نمونه با زاویه حدود ۳۰ درجه با محور افقی قرار می گیرد . در صورتی که در نوع دوم، نمونه ها در حال چرخش افقی هستند. محاسبات ساده نشان می دهد که برای شعاع یکسان، موتور نوع دوم نیروی جاذبه بیشتری ایجاد می کند. متداولترین نوع این دستگاه سانتریفوژ کلینیکی است.

یکی از سنجشهایی که هنگام حرکت ذرات در سانتریفوژ انجام می گیرد، تعیین سرعت ته نشینی و در نتیجه ضریب ته نشینی است. این ضریب معیاری است که اطلاعاتی در مورد وزن مولکولی و شکل ذرات را در اختیار قرار می دهد. هنگامی که پراکندگی غلظتی در شرایطی که به زمان وابسته نیست اندازه گیری شود، اصطلاحاً ذرات به تعادل ته نشینی رسیده اند.

در کل سانتریفوژهای مختلفی مورد استفاده قرار می گیرند که عبارتند از سانتریفوژ ساده،سانتریفوژ منطقه ای و سانتریفوژ بر اساس همانندی وزن مخصوص. در سانتریفوژ ساده ذرات معلق تحت اثر نیروی گریز از مرکز در ته لوله جمع می‌شوند. در سانتریفوژ منطقه ای محلول حاوی ذرات معلق در مقابل محلولی که غلظت آن زیادتر است سانتریفوژ می شود در صورتی که در نوع سانتریفوژ وزن مخصوص ، مایع مقاوم دارای وزن مخصوصی کم یا بیش متفاوت، نسبت به ذرات معلق در محلول می باشد.

ته نشینی ـ سرعتی

ذره ای به جرم m و در فاصله x از مرکز چرخش تحت تأثیر نیرویی است که در رابطه زیر داده شده است:

$$F_{\text{مرکز گریز}} = \mu x \omega^2 \qquad ۳_۱۱$$

در این رابطه ω سرعت زاویه ای بر حسب رادیان بر ثانیه و μ جرم مؤثر ذرهٔ حل شده یعنی جرم واقعی با احتساب نیروی شناورسازی حلال می باشد.

برای بیان تأثیر شناورسازی حلال می دانید که V، یعنی حجم مخصوص جسم حل شده عبارت است از حجم یک گرم آن. بنابراین، حجم m گرم جسم حل شده برابر mV و جرم معادل این حجم از حلال مساوی $mV\rho$ می باشد که ρ چگالی حلال است. پس جرم مؤثر جسم حل شده برابر است با :

$$m - mV\rho = m(1 - V\rho) \qquad ۳_۱۲$$

اکنون می توان معادله را به صورت زیر نوشت:

$$F_{\text{مرکز گریز}} = m(1-V\rho)x\omega^2 \qquad ۳_۱۳$$

این نیرو با نوعی سرعت انتقال ثابت dx/dt توسط نیروی مالشی که از قانون استوکس پیروی می کند، یعنی:

$$F_{\text{مالش}} = 6\pi r\eta \frac{dx}{dt} \qquad ۳_۱۴$$

مقابله می شود. اگر روابط مربوط به این دو نیرو را مساوی هم قرار دهیم سرعت انتقال ثابت به دست می آید.

$$m(1-V\rho)x\omega^2 = 6\pi r\eta \frac{dx}{dt} \qquad ۳_۱۵$$

چنانچه تساوی فوق طوری مرتب شود که متغیرهای دینامیکی با هم باشند رابطهٔ زیر حاصل می شود.

$$\frac{dx/dt}{x\omega^2} = \frac{m(1-V\rho)}{6\pi r\eta} \qquad ۳_۱۶$$

مجموعه جملات دینامیکی سمت چپ معادلهٔ فوق نتایج آزمایشگاهی سرعت ته نشینی را توضیح می دهد. مجموعه $(dx/dt)x\omega^2$ را می توان سرعت حرکت جسم حل شده به ازای واحد نیروی مرکز گریز دانست. ضریب ته نشینی (S) را چنین تعریف می کنند:

$$S = \frac{dx/dt}{x\omega^2} \qquad ۳_۱۷$$

از آنجا که مقدار S برای خیلی از ماکرو مولکولها در حدود $۱۰^{-۱۳}$ ثانیه به دست آمده است، از این رو $۱۰^{-۱۳}$ ثانیه را به عنوان یک واحد مناسب معرفی کرده و به افتخار سودبرگ[1] که بیشتر پژوهشهای اولیه مربوط به مرکز گریزی سریع را انجام داده است، آن را سودبرگ نامیده اند.

بر طبق معادلهٔ ۱۶ ـ ۳ :

1- Svedberg

$$S = \frac{\frac{dx}{dt}}{x\omega^2} = \frac{m(1-V\rho)}{6\pi\, r\eta} \qquad ۳_۱۸$$

با جابجا نمودن جملات این معادله و ضرب در عدد آووگادرو، رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$M = \sigma m = \frac{6\,\pi\,.r\,\eta\,\sigma S}{1 - V\rho} \qquad ۳_۱۹$$

برتری خاصی که تکنیک سرعت ـ ته نشینی دارد این است که محلولی از دو یا چند نوع ماکرومولکول بر طبق جرم مولکولی اجزای تشکیل دهنده اش از هم جدا می شود.

ته شینی ـ تعادلی

روش سانتریفوژ دیگری به نام ته نشینی ـ تعادلی این امکان را می دهد که عمل سانتریفوژ کردن تا آنجا پیش رود که توزیع جسم حل شده در سراسر ظرف به تعادل برسد. در علم ترمودینامیک، انرژی آزاد به عنوان کمیت مناسبی برای مطالعه تعادل معرفی شده است و در اینجا می توان از آن در بررسی گرادیان غلظت تعادلی ایجاد شده استفاده کرد. به خصوص سهم مربوط به سانتریفوژ و نفوذ در انرژیهای آزاد G_{x2}, G_{x1} را در وضعیتهای شعاعی X_1 و X_2 محاسبه می کنند. در حال تعادل ارزش G_{x2}, G_{x1} باید مساوی هم باشد. اختلاف انرژی آزاد ذرات واقع در X_1 و X_2، در نتیجهٔ سانتریفوژ از روی کار لازم جهت انتقال این ذرات از X_1 به X_2 به دست می آید. انرژی آزاد به ازای مقادیر بزرگتر X منفی تر است و بر مبنای تک تک مولکولها چنین بیان می شود.

$$\Delta G \text{ (سانتریفوژ (مرکز گریز} = -\int_{X_1}^{X_2} m'x\omega^2 dx = -\frac{m'\omega^2}{2}(x_2^2 - x_1^2) \qquad ۳_۲۰$$

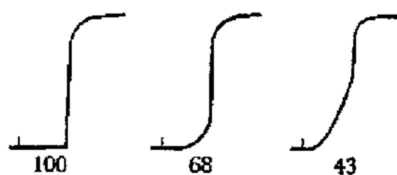
و اگر به جای m' مقدار $m(1-Vp)$ قرار داده شود:

$$\Delta G \text{ (مرکز گریز) سانتریفوژ} = -\frac{m(1-V\rho)\omega^2(x_2^2-x_1^2)}{2} \qquad ۳_۲۱$$

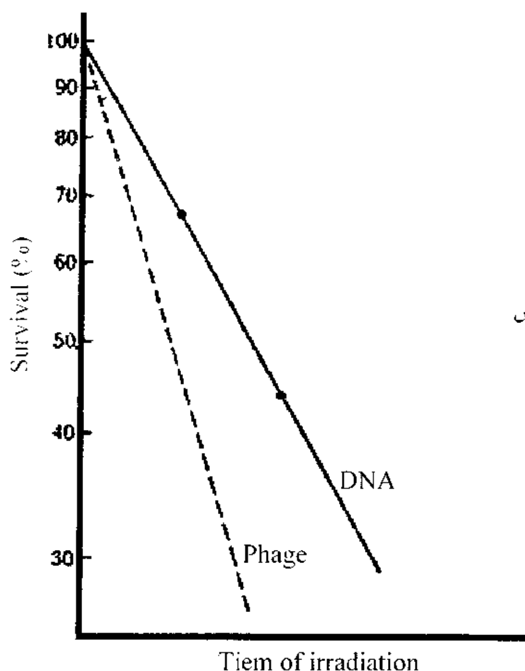
این انرژی آزاد تمایل کلیه ذرات را به گرد آمدن در نقاط بزرگ X ، که انرژی آزاد مرکز گریزی در آنها کم است، بیان می کند.

کاربرد ته نشینی در بیولوژی

اگر باکتریوفاژها در برابر اشعهٔ ایکس قرار گیرند، DNA آنها آسیب دیده و این آسیب ممکن است منجر به مرگ آنها شود. برای بررسی ساختار غیر فعال شدن باکتریوفاژها توسط اشعهٔ ایکس، ابتدا فاژها را در معرض تابش قرار می دهند. بعد از پرتو دهی نمونه را برای تعیین میزان توانایی زنده ماندن فاژها و تجزیه DNA اولتراسانتریفوژ می کنند.



شکل۸-۳ نمودار ته نشینیDNA فاژ B_3 باکتری سودوموناس آئروژینوزا در معرض دو دوز متفاوت از اشعه X.



شکل ۹-۳ درصد زنده ماندن فاژها بر حسب پرتو دهی که حکایت از یکسان نبودن سرعت شکسته شدن DNA با سرعت مرگ فاژ است.

شکل ۸ـ۳ نشان دهندهٔ نمودار ته نشینی DNA فاژهایی است که در معرض دوزهای متفاوت از اشعهٔ ایکس قرار گرفته اند. هنگامی که میزان دوز اشعهٔ ایکس افزایش می یابد، DNA ها آهسته‌تر از قبل رسوب می کنند که این خود بیانگر شکسته شدن DNA است. کسری از مولکولها که آسیب ندیده و شکسته نشده اند در شکل ۹ـ۳ نشان داده شده اند.

اگر نمودار کسری از مولکولهای DNA که شکسته نشده اند و نیز کسری از فاژها که زنده هستند نسبت به زمان به کار رفته رسم شود، معلوم می گردد که مرگ فاژها سریعتر از شکسته شدن مولکولهای DNA روی داده و شکسته شدن DNA در زمانی دو برابر زمان مرگ فاژ روی می دهد.

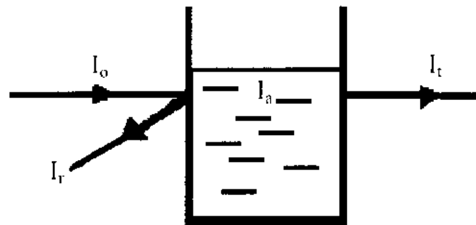
اگر تابش اشعهٔ ایکس در محیطی فاقد اکسیژن انجام شود ، فاژها نسبت به تابش مقاومتر می شوند ، اما میزان شکسته شدن DNA تغییری نمی کند. با مشاهده و بررسی نتایج ، معلوم می شود که سرعت شکسته شدن DNA با سرعت مرگ فاژ یکسان است. از این رو از این آنالیز ساده می توان نتیجه گرفت که دو نوع مرگ وجود دارد،یکی مستقل از اکسیژن که همان شکسته شدن DNA است و دیگری وابسته به اکسیژن که تنها شکسته شدن DNA را شامل نمی شود.

اسپکتروفتومتری جذبی

اسپکترومتری یکی از روشهای فیزیکی اندازه گیری کمی مواد بیولوژیکی است. اساس این روش رنگ سنجی و طیف سنجی می باشد. بدین ترتیب که یک دسته اشعهٔ نورانی منوکروماتیک را به نمونه تابانیده و سپس مقدار نور جذب شده بوسیلهٔ محلول را اندازه می گیرند.

قانون کمی جذب سنجی یا قانون بیرولامبرت

این قانون اساس تجزیه کمی را در طیف سنجی تشکیل می دهد. هر گاه یک نور منوکروماتیک یعنی نوری که یک فرکانس داشته باشد و به شدت I_o عمود بر سطح تابش، وارد یک محلول همگن و شفاف به ضخامت l و غلظت مولکولی c گردد، یک قسمت آن جذب شده، یک قسمت منعکس و قسمت دیگر از محلول عبور کرده و در امتداد شعاع تابش خارج می شود.



$I_o = I_a + I_t$

شکل ۱۰-۳

بنابراین رابطه زیر برقرار است:

$$I_O = I_r + I_a + I_t \qquad \text{۳_۲۲}$$

I_r مقدار کمی است، مثلاً موقعیکه نمونه در سل شیشه‌ای اندازه گیری شود، این مقدار برای سطح جدایی شیشه و هوا در حدود ۰/۰۴ است. به علاوه با بکار بردن بلانک می توان اثر آن را خنثی نمود. پس :

$$I_O = I_a + I_t \qquad \text{۳_۲۳}$$

I_a مقدار کمی است و اندازه گیری مستقیم آن مشکل است در حالیکه مقادیر I_t و I_o به آسانی قابل اندازه گیری هستند. لذا از تفاوت آنها I_a حاصل می شود. ولی آنچه عملاً به وسیله

دستگاههای اندازه گیری نشان داده می شود ($\log I_O/I_t$) است که متناسب با I_a می باشد و رابطهٔ آن با غلظت بوسیله قانون لامبرت ـ بیر داده می‌شود.

قانون لامبرت

هرگاه یک دسته شعاع نورانی منوکروماتیک I از یک محلول جاذب شفاف به ضخامت dL عبور کند کم شدن شدت نور یعنی dI متناسب با شدت نور تابش ضرب در ضخامت محلول است.

$$dI = -KIdL \qquad ۳_۲۴$$

K ضریبی است ثابت و علامت منفی نماینده کم شدن شدت نور است. اگر از رابطه فوق انتگرال گرفته شود نتیجه می شود که:

$$\int_{I_O}^{I_t} \frac{dI}{I} = -k \int_0^L dL \quad \text{یا} \quad In\frac{I_t}{I_O} = -KL \qquad ۳_۲۵$$

$$\log I_t / I_O = -\frac{K}{2.3}L \qquad ۳_۲۶$$

قانون بیر

بیر ثابت کرد که نه تنها جذب نور به وسیله اجزاء جاذب موجود در یک محلول، تابع ضخامت محلول است بلکه تابع غلظت مولکول نیز می باشد. یعنی اگر L ثابت باشد و غلظت دو برابر شود نتیجه همان خواهد بود که در غلظت ثابت و L دو برابر شده. یعنی در هر یک از دو حالت ذکر شده مقدار $Log \, {}^{I_t}\!/_{I_O}$ دو برابر خواهد شد.

با توجه به استدلال قانون لامبرت می توان چنین نتیجه گرفت:

$$Log\frac{I_t}{I_O}=-\frac{\overline{K}}{2.3}Lc$$ ۳_۲۷

$\overline{K}$ مقداری است ثابت.

از ترکیب دو قانون لامبرت و بیر قانون لامبرت ـ بیر حاصل می شود:

$$Log\frac{I_t}{I_O}=-\varepsilon Lc$$ ۳_۲۸

$$Log\frac{I_O}{I_t}=\varepsilon Lc$$ ۳_۲۹

مقدار $Log\, {}^{I}\!/\!{}_{I_O}$ را با A نشان می دهند و آن را Absorbance می نامند. پس:

$$A=\varepsilon Lc$$ ۳_۳۰

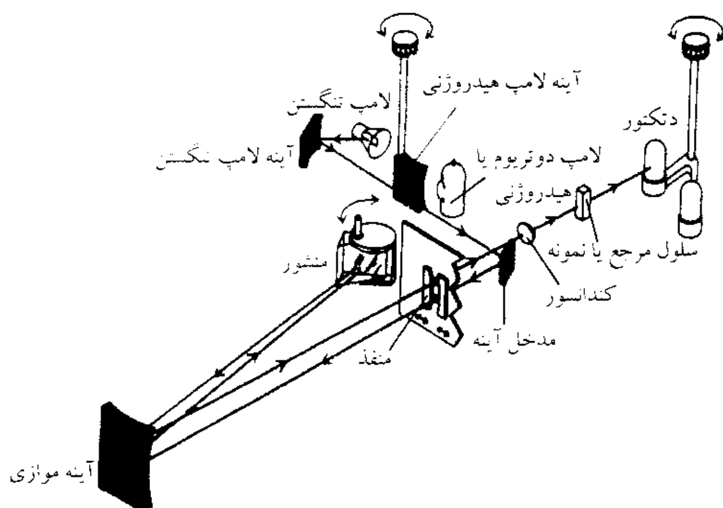
در این رابطه c ،غلظت بر حسب مول در لیتر و L بر حسب سانتی متر ، ضخامت سل یا طولی از محلول که نور از آن عبور می کند و ε ضریبی است ثابت که آن را Molar Absorptivity می نامند، که نماینده حساسیت اندازه گیری است. یعنی هر چه مقدار آن بیشتر باشد حساسیت اندازه گیری بیشتر خواهد بود.

مقدار ε به درجه حرارت، جنس حلال، جنس جسم محلول و طول موج اندازه گیری بستگی دارد و حداکثر مقدار آن برابر 10^5 است و واحد آن ($mole^{-1}Cm^{-1}$) می‌باشد.

ساختمان اسپکتروفتومتر

اسپکتروفتومتر از دو قسمت اسپکترومتر (طیف سنجی) و فتومتر(نورسنجی) تشکیل شده است. اسپکترومتر بخشی است که نور ثابت با طول موج مشخص بوجود می آورد و شامل منبع نور، عدسی، شکافها و صافی (فیلتر) می باشد. بخش فتومتر از قسمتهای سنجش نور و

ضبط آن تشکیل شده است. اجزای تشکیل دهندهٔ دستگاه اسپکتروفتومتر شامل منبع نور معمولی [1] که معمولاً لامپ تنگستن است ـ مولد نور تک رنگ [2] (فیلتر با طول موج مشخص یا منشور) ـ جایگاه قرار دادن محلول رنگی در لوله اسپکتروفتومتر [3] ـ سلول فتوالکتریک (محلی که انرژی نورانی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند) یا تبدیل کننده فوتون به الکترون ـ آمپلی فیکاتور (جریان الکتریکی پیوسته را به جریان الکتریکی متناوب تبدیل می کند) ـ و گالوانومتر جهت اندازه گیری شدت جریان الکتریکی ای که از آمپلی فیکاتور عبور می کند، می باشد.



شکل ۱۱-۳ دستگاه اسپکتروفتومتر ناحیه مرئی ساخت کمپانی آمسکو (نک شعاعی).

نحوهٔ کار با دستگاه اسپکترفتومتر

کار با اسپکتروفتومتر به گونه ای است که ابتدا باید طول موج دستگاه در حدی تنظیم شود که مساوی ماکزیمم جذب نور یک ماده مخصوص در آن طول موج باشد. سپس نمونه مورد مطالعه را در ظرف شیشه ای چهارگوش کوچک قرار داده و در محفظه ای که از آن نور

---

1 - Poly Chromator
2 - Monochromator
3 - Cuvehe

می‌تابد قرار می دهند و سپس مقدار جذب یادداشت می شود. بوسیله این دستگاه می توان غلظت یک ماده آلی مورد نظر را اندازه گرفت. به عنوان مثال چنانچه غلظت پروتئین در یک عصاره مد نظر باشد،ابتدا با یک محلول رنگی (نظیر آمید و شوارتز) پروتئین را رنگ می کنند و بر حسب نوع رنگ حاصل که در این حالت آبی است، طول موج دستگاه را روی ۶۶۰nm تنظیم می کنند و مقدار جذب را یادداشت می نمایند و آنگاه مقدار جذب را روی منحنی استاندارد برده، غلظت پروتئین را بدست می‌آورند.

استفاده از اسپکتروسکوپ ابتدا برای شرح شاخه ای از علم که بر اساس تفکیک تابش مرئی به طول موجهای تشکیل دهنده اش بنا شده بود، بکار رفت. اولین دستگاههای اسپکتروسکوپی جهت استفاده در ناحیهٔ مرئی ساخته شد و بدین لحاظ دستگاههای نوری نام گرفت و شامل دستگاههایی است که برای استفاده در نواحی فرابنفش و زیر قرمز طراحی شده اند.

روشهای اسپکتروسکوپی بر اساس پدیدهٔ انتشار، جذب، فلورسانس یا پراکندگی بنا شده است. با وجودی که دستگاههای مخصوص هر روش در ساختمان، کمی متفاوت می‌باشند، اما اجزای اصلی آنها کاملاً مشابهند . این دستگاه شامل قسمت‌های زیر می‌باشد:

ـ منبع پایدار انرژی تابشی ـ ابزاری که اجازه می دهد فقط یک ناحیه طول موج مشخص عبور کند ـ یک ظرف شفاف جهت نگهداری نمونه ـ یک آشکارگر که انرژی تابشی را به علائم مفید تبدیل می کند ـ آزمایشگر علامات .

اما مقایسه بین اسپکتروسکوپ، اسپکتروگراف، اسپکترومتر و اسپکتروفتومتر نشان می‌دهد که در اسپکتروسکوپ، نور عبور کرده توسط یک چشمی که در امتداد صفحهٔ کانونی اسپکتروسکوپ قرار دارد توسط ناظر مشاهده می شود. در اسپکتروگراف، نور عبور کرده از جسم روی صفحهٔ کاغذ عکاسی ثبت می شود. در اسپکترومتر، یک شکاف خروجی ثابت در

صفحهٔ کانونی واقع شده است و با یک منبع پیوسته اسپکترومتر شدن مطلق نور را اندازه گیری می کند. در اسپکتروفتومتر، نور خارج شده توسط سلولهای فتوالکتریکی به جریانهای الکتریکی تبدیل شده و مورد سنجش قرار می گیرند.

فتومتر شعله ای

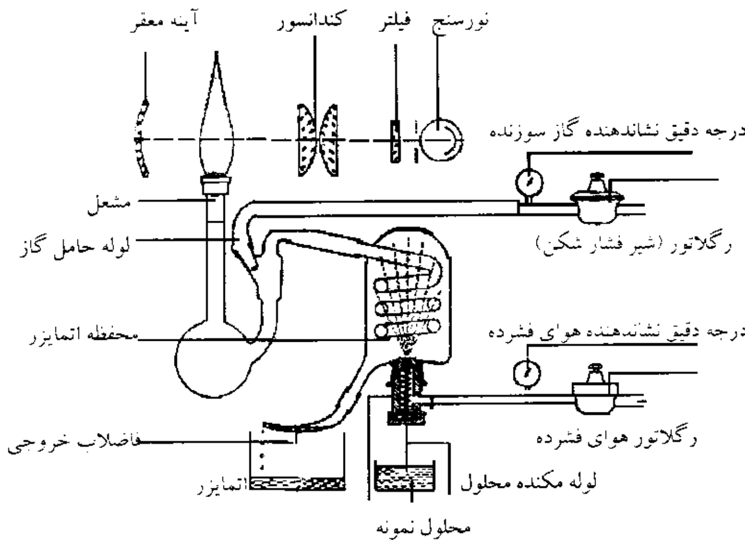
یکی از وسایل الکتریکی که در اکثر آزمایشگاهها یافت می شود فتومتر شعله ای است که از آن بیشتر جهت اندازه گیری سدیم و پتاسیم استفاده می شود. اساس این دستگاه مثل اسپکتروفتومتر بر روی سنجش انرژی نورانی و طیف قشری اتمهای مورد نظر می باشد. اتم فلزات بخصوص فلزات قلیایی مثل سدیم، پتاسیم و یا کلسیم بر اثر انرژیهای مختلف مثل حرارتی و نورانی، الکترونهای مدار آنها برانگیخته شده و به مدارهای بالاتر جهش می کنند. در مدار جدید، الکترونها، انرژی بیشتر ولی پایداری کمتری دارند.به همین دلیل پس از زمان بسیار کوتاهی به مدار اولیه خود باز می‌گردند و در این بازگشت مقداری از انرژی ای که جذب کرده اند را بصورت انرژی گرمایی و انرژی نورانی (فتون) آزاد می سازند. این نور دارای طول موج معینی می باشد که مخصوص آن فلز است. مثلاً نور زرد که از سوختن سدیم ساطع می شود طول موجی برابر ۵۹۰ میلی میکرون و پتاسیم که نور صورتی مایل به بفش بوجود می آورد طول موجی برابر ۷۶۵ را دارا می باشد. اساس به وجود آمدن نور در فتومتر شعله ای شبیه روش فلورسنت است با این تفاوت که در فلورسنت انرژی نورانی UV ماوراء بنفش جهت برانگیختن الکترونها بکار می رود در حالیکه در فتومتر شعله ای انرژی حرارتی به این مصرف می رسد. بر اثر حرارت شعله هر لحظه فقط حدود ۰/۰۰۲ درصد از اتمهای عناصری که براحتی برانگیخته می شوند، مثل سدیم یا پتاسیم، برانگیخته شده و نور ایجاد

می کنند. بر حسب اینکه الکترون چه مداری و تا چه حد برانگیخته شده باشد و بر حسب اینکه چقدر انرژی نورانی (فوتون) ساطع نماید، نوری که می دهد، رنگ آن متفاوت است که مخصوص هر عنصری می‌باشد. بعضی عناصر چند رنگ تولید می کنند و اشکال این است که اگر شعله کم و زیاد شود طول موج بوجود آمده تغییر می کند . به همین جهت دستگاه فتومتر شعله ای فقط جهت اندازه گیری سدیم ، پتاسیم و گاهی در صورت حساس بودن دستگاه جهت اندازه گیری کلسیم البته با حرارت دادن محلول در محفظه جداگانه ، استفاده می گردد.

ساختمان فتومتر شعله ای

ساختمان فتومتر شعله ای شبیه اسپکتروفتومتر و یا فتومتر ساده است با این تفاوت که در فتومتر منبع نور لامپ الکتریکی و در فتومتر شعله ای منبع نور از سوختن ماده مورد آزمایش در شعله می باشد. به علاوه در اسپکتروفتومتر بعد از برخورد نور به محلول نمونه مقدار نور جذب شده A را اندازه می گیرند.

در حالیکه در فتومتر شعله ای نور بوجود آمده مستقیماً اندازه گیری می شود. در دستگاه فتومتر شعله ای ، جهت تجزیه نور معمولاً از فیلترهای Interfrence و جهت سنجش نور از انواع مختلف نور سنج فتوسل یا فتوتیوب استفاده می شود و برای اندازه گیری الکتریسیته از گالوانومتر استفاده می گردد.



شکل ۱۲-۳ دستگاه فتومتر شعله ای

الکتروفورز

الکتروفورز شکل ناقص الکترولیز است که در آن مواد آزمایشی در طول مسیر مهاجرتشان به جای اینکه حرکت خود را در تمام مسیر با جذب شدن به الکترودها ، همانند الکترولیز ، ادامه دهند متوقف می شود . در واقع، الکتروفورز فرآیند حرکت مولکولهای باردار در میدان الکتریکی است. این فرایند شبیه ته نشنی بوده و به یونوفورز نیز معروف است.

الکتروفورز در فاز محلول انجام می شود، که در این فرآیند خصوصیات فیزیکوشیمیایی مولکولها همچون میزان بار، اندازه، شکل و شرایط محیط اطراف آنها از قبیل نوع و غلظت محیط نگهدارنده،جنس، قدرت یونی و PH بافر، درجهٔ حرارت و مؤلفه های میدان الکتریکی (شدت جریان، ولتاژ و زمان الکتروفورز) مؤثر هستند.

جهت انجام این روش مولکولها را بصورت محلول در آورده و در میدان الکتریکی قرار می دهند تا بر حسب بار الکتریکی خود به سمت آند (قطب مثبت) و یا کاتد (قطب منفی)

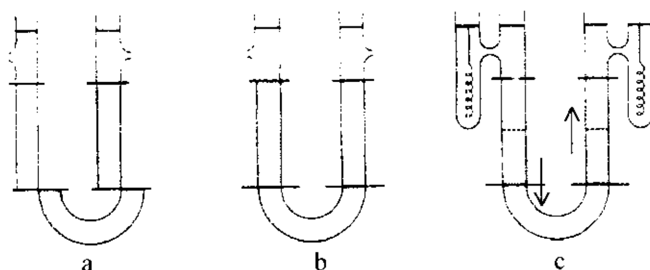
حرکت کنند. کارایی بسیار بالای الکتروفورز در جدا سازی درشت مولکولها (همچون پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک) و بدست آوردن روشهای حساس در تشخیص و مشاهده اجزای جدا شده، آن را به عنوان متداولترین روش پایه ای مورد استفاده محققین علوم زیستی، مطرح ساخته است.

انواع الکتروفورز

الکتروفورزمرزمتحرک

نقل مکان ذرات حل شده باردار تحت تأثیر پتانسیل الکتریکی را می توان در یک دستگاه الکتروفورز با مرز متحرک (شکل ۱۳ ـ ۳) بررسی و مطالعه کرد. ذرات بار دار بسته به نوع بارشان به سوی یکی از الکترودها حرکت خواهند کرد. بنابراین یکی از مرزهای اولیه به طرف بالا و دیگری به سمت پایین حرکت خواهد کرد.

در این روش سلی که مورد استفاده قرار می گیرد U شکل می باشد و جهت جداسازی مخلوط پروتئین ها نیز مورد استفاده قرار می گیرد. این لولهٔ U شکل با سر خوردن ایجاد مرز مشخص می نماید.



شکل ۱۳-۳ سل U شکل الکتروفورز مرز متحرک

اندازه گیری حرکت این مرز در طی زمان این امکان را می دهد که تحرک ماکرو مولکولها در دمای سیستم و در PH بافر تعیین شود. طی این روش مرزی بین محلول پروتئین و بافر تشکیل می شود که هنگام برقراری جریان، این مرز جابجا می شود.

هنگام برقراری یک جریان ثابت از داخل سل، مستقیماً نمی توان میدان الکتریکی را از روی ابعاد الکترودها و اختلاف پتانسیل بین آنها تخمین زد. با استفاده از قانون اهم اگر یک عنصر داخل سل در نظر گرفته شود که سطح آن A و ضخامت آن dx باشد هنگامی که اختلاف پتانسیل اعمال شده به سل برابر dV باشد.

$$dV = -idR \qquad ۳_۳۱$$

i، شدت جریان،dR مقاومت محلول و علامت منفی نشان دهندهٔ این است که جهت حرکت جریان به سمت پتانسیل کمتر است و نیز:

$$dR = \frac{dX}{g.A} \qquad ۳_۳۲$$

که g هدایت ویژه محلول است. بنابراین E به صورت زیر خواهد بود.

$$E = -\frac{dV}{dX} = -\frac{1}{dX}(-idR) = \frac{idX}{dX.gA} = \frac{i}{gA} \qquad ۳_۳۳$$

$$E = \frac{i}{gA} \qquad ۳_۳۴$$

با داشتن شدت جریان و سطح مقطع، به همراه سنجش هدایت ویژه محلول در آزمایشی جداگانه می توان E را محاسبه نمود.

شدت جریان به سادگی قابل سنجش است و مقدار آن می بایست همان مقدار خروجی از سل باشد. چون مشاهدهٔ حرکت مرزی می تواند با دقت زیادی انجام شود، تعیین سرعت

حرکت و در نتیجه تعیین حرکت الکتروفوریکی امکان پذیر خواهد بود. این روش میزان مطلق تحرک را به طور دقیق اندازه گیری می کند. اندازهٔ تحرک در PH های مختلف را می توان به عنوان نمونه با تحرک یونهای ساده مقایسه کرد. در مقایسه مولکولهای پروتئین، بخصوص درPH های بالا یا پایین که حامل چند بار الکتریکی می‌شوند، آنچنان در مقابل حرکت مقاوم نیستند.

نکته مهمی که در شکل هم قابل مشاهده است، وجود درجه ای از PH است که در آن PH تحرک برابر صفر می شود. این PH به نقطه ایزوالکتریک موسوم است.

نقطهٔ ایزویونی کمیت دیگری است که رابطهٔ نزدیکی با نقطهٔ ایزوالکتریک دارد و عبارت است از درجه ای از PH که در آن، ماکرو مولکول در نتیجه کسب یا از دست دادن پروتون در واکنشهای اسید و باز، در مجموع از نظر بارالکتریکی خنثی است. نقطه ایزویونی و ایزوالکتریک ممکن است با هم فرق داشته باشند، زیرا وقتی که مولکول پروتئین در یک محلول بافر قرار بگیرد بار کلی حاصل از اتمسفر یونی در اطراف مولکول ممکن است متفاوت باشد. پروتئین های مختلف نقاط ایزوالکتریک متفاوتی دارند و در یک PH معین تحرک آنها با هم فرق می کند. به همین خاطر است که الکتروفورز وسیلهٔ با ارزشی جهت جداسازی ماکرومولکولها و تخلص آنها می باشد.

هر چند الکتروفورز مرز متحرک اطلاعات دقیقی در مورد تحرک فراهم می کند، ولی استفاده از آن جهت تشکیل و نگهداشتن مرزهای مشخص، به مقادیر زیادی ماده مورد آزمایش و دقت فراوان نیاز دارد. که همین امر سبب استفاده از تکنیک های جدیدتر گردید.

الکتروفورز منطقه ای

این نوع الکتروفورز بسیار ساده تر و توانایی تجزیه کنندگی بیشتری دارد و به نمونه های آزمایش کمتری نیازمند می باشد و به طور وسیعی جانشین الکتروفورز آزاد (اندازه گیری و تشخیص پروتئین های جدا شده بدون اینکه با هم مخلوط شوند انجام می شوند) شده اند.

مواد نگهدارنده می تواند کاغذهای فیلتری مخصوص، ورقهای حساس استات سلولز و یا ژلاتین‌های مختلف باشد. بدین ترتیب که کاغذ فیلتر یا استات سلولز را در بافر، مرطوب می نمایند و یا بافر را با ژلاتین یا آگار مخلوط می کنند. این مواد بر روی مولکولهای مورد آزمایش اثر ناچیزی دارند اما باعث می شوند که آنها به خوبی از یکدیگر جدا و به راحتی قابل اندازه گیری شوند.

در الکتروفورز منطقه ای مولکولهای مورد نظر همراه با حرکت بافر، خود نیز حرکت می کنند، مثل موجودی که خود حرکت دارد و ضمن حرکت خفیف آب همراه آن به جلو رانده می شود. در اثر جریان الکتریکی پروتئین ها در بافری که معمولا قلیایی است بار منفی پیدا کرده و به طرف قطب مثبت حرکت می‌کنند و پس از مدتی از یکدیگر جدا می شوند و روند جداسازی تا هنگامی که پروتئین های اصلی تشکیل دهنده مخلوط به شکل مناطق مجرایی در آیند ادامه می یابد و به همین دلیل این تکنیک به الکتروفورز منطقه ای موسوم است.

محل و مقدار پروتئین ها در مناطق جدا شده با استفاده از یک رنگ پروتئینی تعیین می شود. تراکم رنگ که متناسب با مقدار پروتئین است به وسیله چگالی سنج رد یاب تخمین زده می شود.

در الکتروفورز، جداسازی بیشتر وقتی ممکن است که ماده جامد یا نگهدارنده بتواند حرکت مولکولهای پروتئینی را بر اساس اندازه مولکولی،آهسته یا آنها را به خود راه ندهد. در این صورت پروتئین ها بر اساس بارالکتریکی و اندازه مولکولی بیشتر جدا می‌شوند. برای این منظور پلی آکریل آمید بکار می رود .

با این تکنیک پروتئین های تشکیل دهنده پلاسمای خون به ۱۵ نوار یا بیشتر تجزیه می‌شوند در صورتیکه با تکنیک قبلی ۵ یا ۶ نوار حاصل می شد.

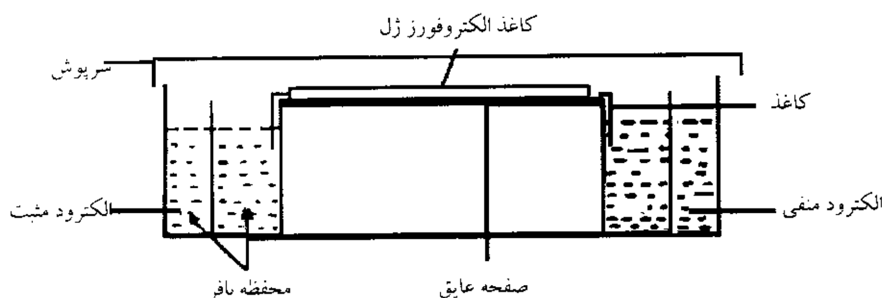
الکتروفورز باژل آکریل آمید می تواند برای جدا کردن مقادیر زیاد پروتئین های خالص شده مورد استفاده قرار گیرد.

الکتروفورز کاغذی

اگر چه الکتروفورز را به راحتی می توان در محلول به اجرا در آورد ولی استفاده از بعضی مواد نگهدارنده انجام آنرا آسانتر می کند. در الکتروفورز کاغذی یک قطعه کاغذ رابرای کنترل PH با یک محلول بافر مرطوب می کنند و مانند پلی بین دو ظرف دارای الکترود کشیده می شود.

بطوریکه دو سر آن در محلول موجود در هر دو ظرف قرار داشته باشد. سپس یک قطره از مخلوط را در یک نقطه روی کاغذ چکانده و جریان برق را وصل می کنند. در این هنگام انواع گوناگون مولکولهای باردار موجود در مخلوط تا فاصله معینی به سمت آند یا کاتد مهاجرت می نمایند. مسافت طی شده به میزان بار الکتریکی و ابعاد مولکول بار دار بستگی دارد. محل این دسته از مولکولهای باردار به وسیله یک لکه تازه بر روی کاغذ مشخص می شود. معمولاً لکه ها از طریق مقایسه با یک مجموعه استاندارد که بر روی کاغذ مشابهی انجام گرفته اند، شناسایی می شوند.

اگر ماده مجهول، پرتوزا (رادیواکتیو) باشد لکه ها را جدا کرده و با دستگاه شمارشگر مقدار پرتوزایی آن را اندازه گیری می کنند.



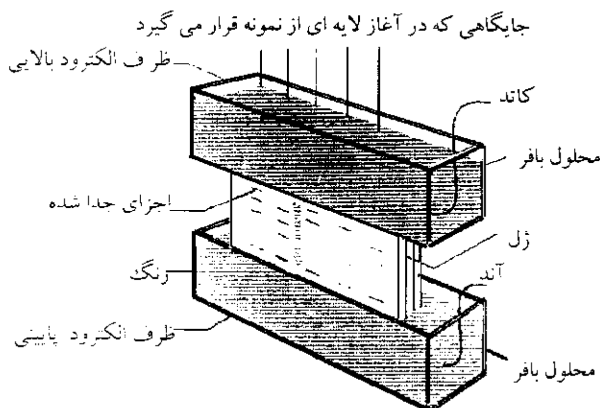
شکل ۱۴-۳ دستگاه الکتروفورز کاغذی

الکتروفورز ژل

از این روش بیشتر جهت جداسازی پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک استفاده می شود. ژل دارای محلول بافر مناسب را بصورت لایه ای نازک بین دو صفحهٔ شیشه ای قرار می دهند. معمولاً جهت تولید ژل از پلی آکریل آمید (یک پلیمر با اتصالات عرضی و محلول در

آب) و آگار (یک پلی ساکارید) استفاده می شود. لایهٔ نازک در بین دو الکترود قرار می گیرد و مقدار کمی از مخلوط را به کمک پی پت و با دقت در بالای ژل و بر روی شکافهایی که از پیش روی ژل ایجاد شده اند، می ریزند. معمولاً برای ردیابی، مقداری گلیسیرین و رنگهای آنیونی و یا کاتیونی محلول در آب را به نمونه می افزایند. گلیسیرین نمونه را غلیظ می کند. زیرا موجب می شود تا نمونه با محلول بافر موجود در محفظه الکترود بالایی مخلوط نشود. رنگ سریعتر از درشت یونهای موجود در نمونه مهاجرت می کند، بطوریکه محقق به آسانی می تواند پیشرفت آزمایش را دنبال کند.

جریان برقرار می شود و ادامه می یابد تا نوار رنگ ردیابی به پایین لایه نازک ژل برسد. ژل یاد شده راسپس از بین دو صفحهٔ شیشه ای بیرون می آورند و معمولاً با یک رنگ ویژه که به پروتئین ها یا اسیدهای نوکلئیک می چسبد و آنها را پدیدار می کند، لکه گذاری می کنند. در این هنگام از ژل عکسبرداری می شود تا برای مدت طولانی نتایج به ثبت برسد. از آنجا که مخلوط پروتئین یا اسید نوکلئیک بصورت یک نوار باریک در بالای ژل ریخته می شوند، هر یک از مؤلفه های این مخلوط با سرعتهای مختلفی مهاجرت می کنند و بصورت نوارهای باریکی بر روی ژل آشکار می شوند. اگر چه به علت وجود پدیدهٔ انتشار ممکن است که نوارها کمی پهن شوند، روشهای معینی نیز برای باریک تر کردن این نوارها وجود دارد . بطوریکه با کمک آنها می‌توان تک تک درشت یونهای موجود در نمونه را بصورت خطوط باریکی بر روی ژل آشکار کرد.



شکل ۱۵-۳ الکتروفورز ژل

مؤلفه های الکتریکی الکتروفورز

در الکتروفورز، اختلاف پتانسیل یا ولتاژ، V، نیروی اصلی حرکت دهنده مولکولهای باردار است و سرعت حرکت مولکولها به مقدار آن بستگی دارد. رابطه اختلاف پتانسیل با شدت جریان، I، و مقاومت الکتریکی، R، در قانون اهم آمده است.

$$V = IR \qquad ۳_۳۵$$

$$I = \frac{V}{R} \qquad ۳_۳۶$$

مقاومت الکتریکی شامل مقاومت سیم ها، الکترودها، ژل و بافر است. اگر در الکتروفورز مقاومت را ثابت فرض کنیم،اختلاف پتانسیل و شدت جریان نیز ثابت خواهد ماند.

در عمل به دلیل تغییر مقاومت الکتریکی (کاهش یا افزایش آن بستگی به نوع الکتروفورز دارد) یکی از دومؤلفه ولتاژ یا شدت جریان (بسته به نوع مولد) دچار تغییر می گردد. گرمایی که در اثر مقاومت الکتریکی در طی الکتروفورز تولید می شود به گرمای ژول معروف است. این گرما با معادلهٔ توان قابل مقایسه است.

P توان الکتریکی (و به وات) است:

$$P = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R} \qquad ۳_۳۷$$

مولدهای الکتریکی مورد استفاده در الکتروفورز دو دسته هستند. یک دسته از آنها قادرند در هر حالت فقط یکی از دو مؤلفه اختلاف پتانسیل یا شدت جریان را ثابت نگهدارند. اگر الکتروفورز در شرایط اختلاف پتانسیل ثابت یا شدت جریان ثابت انجام شود، تغییرات سایر مؤلفه های الکتریکی (مقاومت و گرمای ژول) متأثر از سیستم بافری است ، جدول ۱ – ۳.

سیستم بافری (مثال)	تغییرمقاومت الکتریکی در طول آزمایش	نوع مؤلفه ثابت نگهداشته شده	تغییرات گرمایی
بافر ناپیوسته (SDS - PAGE)	$R\uparrow$	جریان ثابت ولتاژ ثابت	$P\uparrow$ $P\downarrow$
بافرپیوسته (الکتروبلات یا الکتروفورز DNA)	$R\downarrow$	جریان ثابت ولتاژ ثابت	$P\downarrow$ $P\uparrow$

جدول ۱ – ۳ تغییر مؤلفه های الکتریکی در الکتروفورز باتوجه به سیستم بافری

برای مثال درSDS-PAGE [1] که سیستم بافری اصطلاحاً ناپیوسته (چند قسمتی) است الکتروفورز در جریان الکتریکی ثابت با بالا رفتن مقاومت الکتریکی و گرما همراه است زیرا برای ثابت ماندن جریان، اختلاف پتانسیل باید به تدریج بالا برود.

---

1 - sodium do decyl sulfate polyacryl amide gel electrophoresis

در این حالت غالباً وجود سیستم خنک کننده برای حذف گرمای تولید شده ضرورت دارد، چرا که الکتروفورز در جریانهای الکتریکی بالا ممکن است به بی نظمی باندهای پروتئین، سوختن ژل، ترک خوردن شیشه های اطراف ژل یا آسیب به دستگاه منجر شود. در مقابل الکتروفورز با ولتاژ ثابت در این سیستم بافری به تدریج با کاهش جریان الکتریکی و گرما همراه است. با این حال تغییری در سرعت حرکت پروتئین ها دیده نمی شود. در شرایطی که الکتروفورز در سیستم بافری ناپیوسته صورت می گیرد و دستگاه فاقد سیستم خنک کننده است کار در ولتاژ ثابت مطلوب تر به نظر می رسد.

نوع دوم مولدها که جدیدتر می باشند مولدهایی هستند که قادرند توان الکتریکی را ثابت نگهدارند. ثبات توان الکتریکی باعث می شود تا گرمای حاصله در طول آزمایش ثابت بماند و شدت جریان پایین بیاید. بدین لحاظ ثبات دما، سرعت آزمایش و نتیجهٔ مطلوب در توان الکتریکی ثابت، امکان پذیر می گردد. در این شرایط با افت شدت جریان در طول آزمایش ولتاژ به طور خود کار بالا می رود. لذا جداسازی پروتئین ها با شیب فزایندهٔ ولتاژ صورت می گیرد.

با این مولدها می توان در ابتدای کار جریان اولیه و ولتاژ نهایی را به نحوی تنظیم کرد که پس از رسیدن ولتاژ به حد نهایی، توان الکتریکی به تدریج پایین آید. بنابراین شرایط الکتروفورز با استفاده از این مولدها به طور دقیق قابل کنترل است. البته این موضوع بدین معنی نیست که الکتروفورز در توان الکتریکی ثابت در تمام حالت ها بهترین نتیجه را به دنبال دارد.

به طور کلی تصمیم گیری در این خصوص که کدام مؤلفه الکتریکی در طول آزمایش ثابت نگهداری شود، به چندین عامل بستگی دارد این عوامل عبارتند از:

۱ ـ نیاز به ثبات دمای آزمایش

۲ ـ مدت زمان الکتروفورز

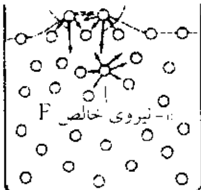
۳ ـ به حداقل رسیدن پهنای باندهای پروتئین در اثر انتشار و ...

۴ ـ از بین رفتن فعالیت پروتئین در اثر گرمای زیاد یا طولانی شدن آزمایش.

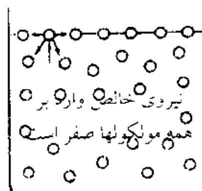


کشش سطحی

کشش سطحی[1] پدیده ای است که در سطح برخی مایعات که در تماس با هوا هستند وجود دارد. در یک ظرف آب مطابق شکل ۱ ـ ۴ دو مولکول، یکی را در داخل آب و دیگری را در سطح آن در نظر بگیرید. مولکولی که در داخل قرار دارد از طرف تمام مولکولهای اطراف به یک مقدار کشیده می شود و لذا برآیند نیروهای وارده بر آن صفر است.







شکل ۱-۴ کشش سطحی که ناشی از نیروهای هم چسبی است همواره می کوشد که مساحت سطح را به حداقل برساند. تحت تاثیر کشش سطحی برآمدگی روی سطح مایع به صورت تخت درمی آید.

1 - Surface tension

اما در مورد مولکولی که در سطح آب وجود دارد چون غلظت مولکولی آب در هوا به مراتب کمتر از مقدار آن در داخل آب است لذا این مولکول از قسمت پایین بیشتر کشیده می شود تا هوا. در نتیجه برآیند نیروهایی که به آن وارد می شود، نیرویی است که از سطح آب عمود و به سمت داخل است. بدین ترتیب تمام مولکولهای موجود در سطح آب تحت تأثیر نیرویی هستند که آنها را به داخل مایع می کشد. این نیرو که در سطح مایع وجود دارد کشش سطحی نام دارد. شما وجود نیروی کشش سطحی آب را در هنگامی که داخل استخر شنا می کنید و می خواهید از آب بیرون بیایید به خوبی احساس می کنید. زیرا بیرون آمدن از آب به این دلیل که باید بر کشش سطحی آب فائق آیید به سختی صورت می گیرد و یا اگر یک حشره کوچک روی آب بدون اینکه غرق شود راه می رود به این دلیل است که نیروی وزن حشره کمتر از نیروی کشش سطحی آب است و نیز اینکه یک قطره آب حالت کروی به خود می گیرد به دلیل وجود همین نیروی کشش سطحی می باشد.

بر حسب تعریف، نیروی کشش سطحی مقدار نیرویی است که در هر واحد طول در سطح مایع اثر کرده و مولکولها را به سمت داخل می کشد. برای روشن شدن بهتر موضوع با فرض اینکه یک میله یا سیم بسیار نازک فلزی به طول L، بدون اینکه در آب غرق شود در سطح آن قرار داشته باشد، اگر این میله از سطح آب بالا کشیده شود و کشش سطحی آب مطابق تعریف فوق S باشد باید نیرویی معادل $(S)(2L)$ وارد شود. یعنی :

$$F = S(2L) \qquad ۴_۱$$

که در آن L طول میله، S کشش سطحی آب و F نیروی لازم برای بیرون کشیدن میله از سطح آب است. دلیل اینکه به جای L مقدار $2L$ منظور شده این است که در هنگام بالا کشیدن میله

آب از دو سمت میله با آن در تماس است. و یا اگر بجای میله یک حلقه بسیار نازک فلزی که شعاع آن r است در سطح آب قرار گرفته باشد برای بیرون کشیدن آن از سطح آب نیرویی معادل $S[2(2\pi r)]$ لازم خواهد بود:

$$F = S[2(2\pi r)] \quad (۴\text{ـ}۲)$$

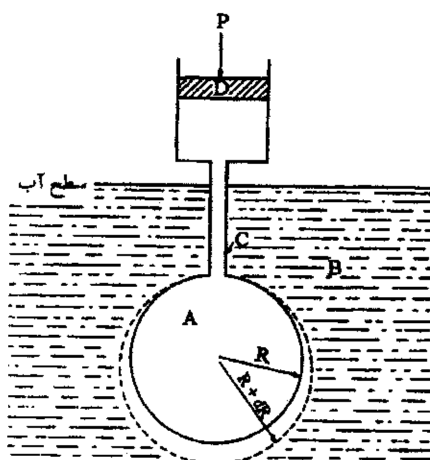
زیرا محیط حلقه $2\pi r$ است و چون آب از دو طرف با آن در تماس است به جای L می بایست دو برابر محیط یعنی $2(2\pi r)$ را در نظر گرفت. در معادله ۱ ـ ۴ اگر واحد نیرو دین[1] واحد طول سانتی متر باشد واحدی که برای کشش سطحی به دست می آید دین بر سانتی متر است. آب بعد از جیوه بالاترین نیروی کشش سطحی را نسبت به مایعات دیگر دارد.

کشش سطحی یک محلول بستگی به دما و غلظت املاح موجود در آن نیز دارد. نیروی کشش سطحی از عواملی است که صعود آب رادر لوله های مویین خاک و یا آوندهای گیاهی سبب می شود. وضعیت سطح هلالی شکل آب در لوله های مویین نیز به دلیل وجود نیروی کشش سطحی است که در زیر بیشتر در مورد آن توضیح داده شده است.

اگر یک حباب کف صابون که در اثر کشش سطحی به صورت یک کره شیشه ای تو خالی در آمده است در نظر گرفته شود اختلاف فشار داخل و بیرون حباب همواره تمایل دارد آن را بترکاند اما نیروی کشش سطحی موجود در سطح حباب مانع از آن می‌شود. تا آنجا که سرانجام اختلاف فشار بر کشش سطحی فائق آمده و آن را می‌ترکاند. فرض کنید با دمیدن در داخل آب توسط یک لوله باریک حبابی ایجاد می‌شود که فشار داخل آن P و شعاع آن مطابق شکل ۲ ـ ۴ برابر R می‌باشد.

---

1 - dyne



شکل ۲-۴

اگر با دمیدن بیشتر در داخل حباب فشار آن را به اندازه ΔP افزایش دهید شعاع حباب نیز به مقدار dR افزایش یافته و به $R+dR$ می رسد. این امر باعث می شود که سطح جانبی حباب از $4\pi R^2$ به $4\pi(R+dR)^2$ افزایش یابد. تفاوت این دو، برابر است با :

$$4\pi(R+dR)^2 - 4\pi R^2 = 4\pi R^2 + 4\pi(dR)^2 + 8\pi R dR - 4\pi R^2 \qquad ۴_۳$$

چون مقدار dR کوچک است لذا $(dR)^2$ نیز به مراتب مقدار بسیار کوچکتری خواهد بود و می توان آن را برابر صفر فرض کرد. لذا در معادله بالا از $4\pi(dR)^2$ صرفنظر می‌شود در نتیجه افزایش سطح حباب در اثر افزایش فشار تقریباً برابر $8\pi R(dR)$ خواهد بود . از طرف دیگر افزایش سطح حباب نیاز به مقداری کار دارد، که بر خلاف کشش سطحی (S) عمل کند، مقدار این کار برابر است با حاصلضرب نیرو در تغییر مکان ، که در اینجا به جای نیرو، کشش سطحی (S) و به جای تغییر مکان $8\pi R.dR$ می‌باشد . در نتیجه مقدار کار برابر خواهد بود با $(8\pi R.dR)(s)$ همزمان با افزایش سطح جانبی حباب ، حجم کره نیز تغییر می کند که مقدار آن با صفر در نظر گرفتن مقادیر dR^3, dR^2 برابر است با:

$$\frac{4}{3}\pi(R+dR)^3 - \frac{4}{3}\pi R^3 = 4\pi R^2 dR \qquad ۴_۴$$

این افزایش حجم نیز به دلیل کاری است که افزایش فشار (ΔP) انجام داده و مقدار آن معادل با $\Delta P(4\pi R^2 dR)$ است. با این مقدار کاری که باعث افزایش حجم شده است با کاری که موجب افزایش سطح گردیده است برابر است یعنی :

$$(S)(8\pi R dR) = (\Delta P)(4\pi R^2 dR) \qquad ۴_۵$$

$$\Delta P = \frac{2S}{R} \qquad ۴_۶$$

معادله بسیار مهم ۶-۴ که خاصیت بالا رفتن آب در لوله های مویین و آوندهای گیاهی با آن توجیه پذیر است، نشان می‌دهد که تحمل حباب در مقابل اختلاف فشار با مقدار کشش سطحی نسبت مستقیم و با شعاع حباب نسبت عکس دارد و اگر حبابی بخواهد بیشتر مقاوم باشد باید قطر آن کوچکتر باشد.

اگر در معادله ۶-۴ به جای ΔP مقدار معادل آن بر حسب فشار هیدرواستاتیک قرار داده شود:

$$\Delta P = \rho . h \qquad ۴\text{–}۷$$

که ρ وزن مخصوص مایع و h ارتفاع نظیر فشار است بنابراین:

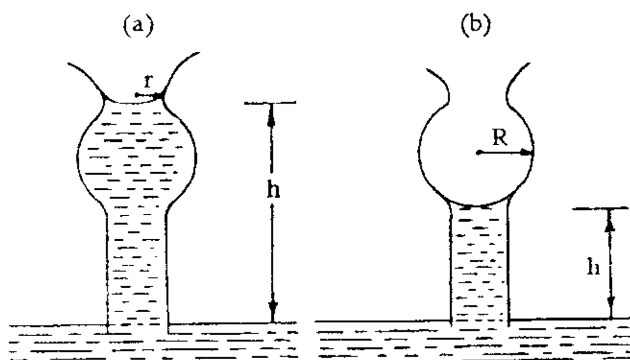
$$\rho h = \frac{2s}{R} \qquad ۴\text{–}۸$$

از این معادله می‌توان مقدار صعود آب در لوله های باریک را به دست آورد.

$$h = \frac{2s}{\rho R} \qquad ۴\text{–}۹$$

معادله ۹-۴ همان رابطه است که در صعود آب در لوله های مویین (لوله‌هایی که قطر آنها کمتر از ۹/۵ میلی متر باشد بنام لوله مویین معروف می‌باشند. به همین دلیل لوله‌های آزمایش و دیگر وسایل آزمایشگاهی را با قطر بزرگتر می‌سازند تا خطای ناشی از لوله های مویین به

وجود نیاید) و آوندهای گیاهی به کار برده می‌شود. زیرا اگر یک لوله باریک به شعاع R در داخل آب قرار داده شود نیروی چسبندگی بین آب و جدار لوله باعث بالا رفتن آب در لوله می‌شود.



شکل ۳-۴

در وضعیت تعادل نیروی کشش سطحی که باعث چسبیدن آب به محیط لوله($2\pi R$) می‌شود معادل وزن آبی است که در لوله بالا آورده شده است.

یا:

$$S(2\pi R) = \pi R^2 h\rho$$

نتیجه ارتفاع صعود (h) برابر است با:

$$h = \frac{2S}{\rho R} \qquad (۴-۱۰)$$

که همان معادلهٔ ۹-۴ می‌باشد. توجه شود که در معادلات فوق زاویه تماس آب با جداری که با آن در تماس است صفر در نظر گرفته شده است.

عوامل موثر بر کشش سطحی

وزن مخصوص

معادله ماک لود[1] رابطهٔ کشش سطحی(γ) را با وزن مخصوص مایع (ρ) و بخار آن(ρ') نشان می‌دهد.

$$\gamma\alpha(\rho-\rho') \qquad ۴-۱۲$$

درجه حرارت

کشش سطحی با افزایش درجه حرارت (T) کاهش می‌یابد و در درجه حرارت بحرانی[2] T_c از بین می‌رود. در فرمول زیر ،این رابطه نشان داده شده است.

$$\gamma\times\sqrt[3]{(MV)^2}=k(T_c-T-6) \qquad ۴-۱۳$$

که در آن k ضریب ثابت، M وزن مولکولی، V حجم ویژه محلول است ($V=\frac{1}{p}$).

مواد حل شده

طبق اصل گیبس ـ تامسون موادی که در محلول پراکنده شده وتنها در سطح جمع نمی‌گردند، باعث افزایش کشش سطحی می‌شوند. در حالی که موادی که در سطح محلول تجمع پیدا می‌کنند باعث کاهش کشش سطحی می گردند.

1 - Mac Load
2 - Critical

اگر c غلظت کلی ماده حل شده در محلول رقیقی باشد و S مازاد غلظت ماده حل شده نسبت به غلظت آن در داخل محلول باشد، $\Delta\gamma$ تغییرات γ بر حسب تغییرات جزئی غلظت (Δc) خواهد بود. در این صورت معادله جذب سطحی گیبس به صورت زیر نوشته می‌شود .

$$s = -\frac{c}{RT}(\frac{\Delta\gamma}{\Delta c}) \qquad ۴-۱۴$$

بدیهی است که کمیت مثبت (s) و یا غلظت مازاد در سطح، نسبت به غلظت ماده در لایه عمقی ، به مقدار منفی $\frac{\Delta\gamma}{\Delta c}$ بستگی دارد. یعنی مشخص کننده کاهش کشش سطحی است. ترکیبات سورفاکتان مانند صابون ، دترژانها ، و نمکهای صفراوی به صورت یک لایه ای در سطح قرار می‌گیرند و از این طریق، باعث کاهش کشش سطحی می‌شوند. وجود گروه‌های غیر قطبی مواد کشش سطحی (آمفی پاتیک) در غشاء تک لایه ای باعث کاهش نیروی جاذبه در سطح مایع می‌شوند. برخی از ترکیبات معدنی و قلیایی دارای اثر متضاد هستند کشش سطحی محلولها را می‌توان با روشهای مختلف اندازه گیری کرد .

از آنجا که کشش سطحی باعث کاهش در تغییر شکل تعادلی سطح مایعات می‌شود، بررسی شکل قطر ه و یا حباب را می‌توان برای اندازه گیری کشش سطحی به کار برد. بالا رفتن مایع در لوله مویین و یا کششی که در حد فاصل تیغه ای ایجاد می‌گردد که به طور عمودی در داخل مایع فرو برده شده است، در اندازه گیری کشش سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد .

در حد فاصل فازهای مایع ـ جامد ـ گاز زاویه اختصاصی θ وجود دارد که می‌توان آن را محاسبه نمود.

زاویه تماس به نوع سه فاز مایع ، جامد و گاز بستگی دارد . بعضی از مایعات مانند آب باعث تر شدن جدار لوله می‌شوند و زاویه θ مساوی صفر می‌گردد (شکل ۴-۴)

بعضی مایعات دیگر مانند جیوه که این کیفیت در آنها به وجود نمی‌آید باعث ایجاد زاویه θ به مقدار 180° می‌شوند. زمانی که مایع باعث تر شدن جدار ظرف می‌شود، لبه مایع به بالا کشیده می‌شود، در غیر این صورت کشش سطحی لبه مایع را به پایین می‌کشد. دقیق ترین روش برای اندازه گیری کشش سطحی اندازه گیری ارتفاع مایع و فرو رفتگی آن در لوله مویین است. لوله مویین با شعاع (γ) در داخل ظرف حاوی مایع به طور عمودی قرار گرفته است. وزن مخصوص مایع (ρ) می‌باشد. مایع دیواره را تر می‌کند و سطح مایع در لوله افزایش می‌یابد و تا آنجا، مایع در لوله بالا می‌رود ، که نیروی حاصل از کشش سطحی با نیروی حاصل از فشار اتمسفر به حال تعادل در آید.

ارتفاع استوانه معادل این افزایش مساوی (h) است. منیسک مایع به صورت منحنی است ولی ارتفاع دقیق افزایش ، مساوی ارتفاع از نقطه مینیمم منیسک به اضافه $\frac{1}{3}$ شعاع لوله مویین است.

به این ترتیب نیروی وارده به سطح مایع مساوی است با:

$$\pi r^2 h\rho g \qquad ۱۵-۴$$

که در آن g شتاب جاذبه زمین است .

سطح محلول با جدار ظرف، زاویه θ را ایجاد می‌کند و مؤلفه عمودی حاصل باعث بالا رفتن مایع در لوله می‌شود. کشش سطحی بر روی محیط سطح مایع عمل می‌کند و نیروی بالا برنده مساوی با $2\pi r\gamma\cos\theta$ می گردد . در موضع تعادل دونیروی موجود، مساوی می‌باشند :

$$2\pi\gamma r\cos\theta = \pi r^2 h\rho g \qquad ۱۶-۴$$

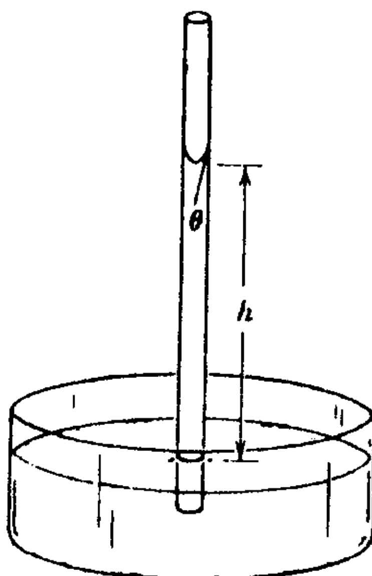
و یا

$$\gamma = \frac{h\rho g r}{2\cos\theta} \qquad ۱۷-۴$$

برای بیشتر مایعات از جمله آب، زاویه تماس بسیار کوچک است و θ نزدیک صفر است و در نتیجه $\cos\theta = 1$ می‌شود و بنابراین می‌توان نوشت.

$$\gamma = \frac{1}{2}h\rho gr \qquad ۴_۱۸$$

کشش سطحی مایعات در اثر افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابد ودر چند درجه به درجه حرارت بحرانی بسیار کوچک می‌شود. هر قدر حرکت جنبشی در اثر حرارت افزایش یابد نیروی جاذبه بین مولکولی که مولکولها را به داخل می‌کشاند، کمتر است.



شکل ۴-۴

کشش سطحی در ریه

در هنگام دم، فشار در آلوئولوسها در حدود ۳ mmHg از فشار جو کمتر است و این امر سبب می‌شود هوا از طریق مجاری نایچه‌ها به آلوئولوسها وارد شود، در این هنگام شعاع آلوئولوسها از $0/5\times10^{-4}$ به 1×10^{-4} متر افزایش می‌یابد. آلوئولوسها با شاره بافتی لزجی

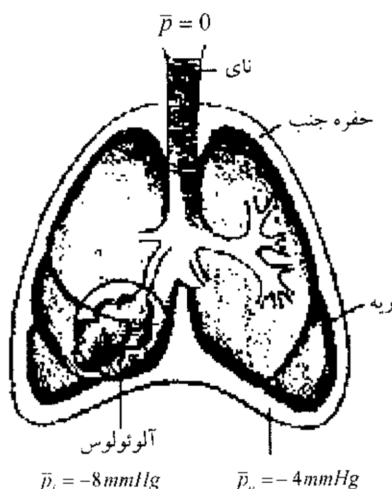
پوشیده شده اند که کشش سطحی آن معمولاً $\frac{N}{m}$ ۵٪ است. با این کشش سطحی اختلاف فشار لازم برای پر از هوا شدن آلوئولوس برابر است با

$$p_i - p_0 = \bar{p}_i - \bar{p}_0 = \frac{2\gamma}{r} \qquad ۴-۱۹$$

$$\frac{(2)(0/05\frac{N}{m})}{0/5\times10^{-4}m} = 2\times10^3\ \frac{N}{m^2} = 15mmHg \qquad ۴_۲۰$$

منظور این است که فشار پیمانه ای $\bar{p}_0$ در بیرون آلوئولوس باید ۱۵ mmHg از فشار $\bar{p}_i = -3mmHg$ در داخل آن کمتر باشد. بنابراین $\bar{p}_0$ مساوی با ۱۸ mmHg- خواهد بود . در این حالت فشار خارج عبارت است از فشار فضای میان ریه ها و حفره جنب،که ریه ها را نگه می‌دارد . در واقع فشار داخل این فضا، منفی است (همین فشار منفی است که مانع چسبیدن ریه ها به جداره حفره می‌شود). اما این فشار در حدود ۴ mmHg- است ، در نتیجه، اختلاف فشار واقعی $\bar{p}_i - \bar{p}_0$ در حدود ۱ mmHg است، که ۱۵ مرتبه از فشار لازم برای منبسط کردن آلوئولوس با کشش سطحی $0/05\frac{N}{m}$ کمتر است. برای رفع این مشکل جداره های آلوئولوس‌ها سورفکتانتی ترشح می کنند که کشش سطحی را ۱۵ مرتبه کاهش می‌دهد. ظاهراً در هر آلوئولوس مقدار ثابتی از این سورفکتانت وجود دارد و توانایی آن در کاهش کشش سطحی به غلظتش بستگی دارد. بنابراین وقتی که هوای آلوئولوس خالی می‌شودغلظت سورفکتانت (در واحد سطح) زیاد و کشش سطحی بسیار کم است. در نتیجه آلوئولوس بدون هیچ مشکلی از هوا پر می‌شود. اما وقتی آلوئولوس از هوا پر می‌شود غلظت سورفکتانت کاهش می‌یابد و کشش سطحی زیاد می‌شود. تا اینکه در حالت انبساط کامل، تعادل برقرار

می‌شود. در هنگام بازدم، افزایش کشش سطحی باعث متراکم شدن آلوئولوس شده و هوا را از درون آن بیرون می‌راند. در هنگام تولد، آلوئولوسهای نوزاد کاملاً متراکم شده اند و اختلاف فشاری به بزرگی ۳۰ mmHg لازم است تا آنها را برای نخستین بار منبسط کند. بنابراین در نخستین تنفس زندگی، کوشش فوق العاده ای برای غلبه بر کشش سطحی آلوئولوس‌ها لازم است.

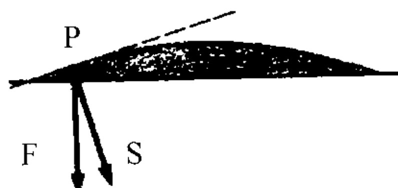


شکل ۵-۴ آلوئولوس ها کیسه های بسیار کوچکی در انتهای مجاری هوایی هستند.

اثر مویینگی

اگر یک قطره مایع روی یک سطح جامد قرار بگیرد، بسته به بزرگیهای نسبی نیروهای دیگر چسبی و هم چسبی، مایع می‌تواند پخش یا جمع شود. نیروی هم چسبی نیرویی است که مولکولهای مایع به یکدیگر وارد می‌کنند و همین نیرو اجزای مایع را به هم می‌چسباند. نیروی دیگر چسبی نیرویی است که هر سطح یا جسم خارجی به مولکولهای مایع وارد می‌کند. اگر یک قطره آب بر روی شیشه تمیزی قرار بگیرد، روی آن پخش می‌شود. زیرا جاذبه میان آب و شیشه (نیروی دیگر چسبی) از جاذبه میان آب و آب (نیروی هم چسبی) بیشتر است. در حالت تعادل، سطح آب ونیروی کل وارد بر آن، بر هم عمودند این موضوع در شکل ۶-۴

نمایش داده شده است. این شکل نیروی دیگر چسبی و نیروی هم چسبی را که به یک مولکول آب واقع در نقطه p وارد می‌شوند، نشان می‌دهند. راستای سطح ونیروی کل وارد بر مولکول بر هم عمودند[1].



شکل ۶-۴ نیروهای هم چسبی و دیگر چسبی وارد بر یک نقطه از لبهٔ یک قطره آب در روی شیشه.

۱- کشش سطحی آب از کشش سطحی هر مایع دیگر بالاتر است و این به دلیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکولهای آب است. در داخل یک ظرف پر از آب یامایع، مولکولهایی که در مرکز ظرف هستند بوسیله سایر مولکولها جذب یا دفع می شوند. در نتیجه برآیند نیروهای وارد بر مولکول صفر می باشد. اما در مورد مولکولهایی که در سطح هستند تنها بوسیله مولکولهایی که در عمق هستند کشیده می شوند. در نتیجه سطح مایع به یک حداقل میل می کند. اگر همین وضعیت در داخل آوندها به وجود بیاید مسلماً سطح مایع داخل آوندها به یک سمت حداقل میل می کند و از تشکیل حباب در آوندها جلوگیری به عمل می آید. آب بر اساس خاصیت کشش سطحی از آوندها بالا می رود.



غشاء مصنوعی

ساختمان غشاء

در حال حاضر مدل قابل قبول ارائه شده برای ساختمان غشاء مدل موزاییک سیال است (اصطلاحی که توسط سینگرونیکلسون برای توصیف خواص و سازمان بندی غشاء به کار برده شد). طبق این مدل، غشاء شامل دو لایه مولکولهای لیپیدی می‌باشد که در بین آنها پروتئین ها قرار گرفته اند . بعضی از پروتئینها روی سطح قطبی لیپید قرار دارند که به آنها پروتئینهای محیطی یا خارجی گفته می‌شود در حالی که سایر پروتئینها به داخل دو لایه لیپید نفوذ کرده و پروتئینهای یکپارچه یا داخلی را به وجود می‌آورند.

پروتئینهای محیطی و بخشی از پروتئینهای یکپارچه که در سطح خارجی غشاء قرار دارند، عموماً شامل زنجیره‌هایی از قند بوده که در بسیاری از پدیده های فیزیولوژیک مثل چسبیدن سلول به سلولهای مجاورنقش دارند. لیپید های غشاء در درجه اول، فسفو لیپید می‌باشند. اگر چه مقداری لیپید خنثی نیز ممکن است وجود داشته باشد. بعضی از لیپیدهای سطح خارجی دارای زنجیره‌های کربو هیدراتی می‌باشند وتشکیل گلیکو لیپیدها را می‌دهند.

شکل ۱–۵ مدل موزائیک ساختمان غشاء.

آنتی ژنها و آنتی بادیها

معمولاً آنتی ژنها گلیکوپروتئینهایی هستند که در غشاء سلولها یا دیگراجسامی که برای موجود غیر خودی محسوب می‌گردند، وجود دارند. برای مثال آنتی ژنهایی که در غشاء باکتریها ویا پوشش ویروسها جای دارند تحریک سیستم ایمنی موجودی که توسط این میکروارگانیسم ها مورد هجوم قرار گرفته است را باعث می‌شوند و در نتیجه تولید و ترشح آنتی بادی را سبب می‌گردد.

در مورد لنفوسیتهای B اتصال آنتی ژن به آنتی بادیهای سطح غشاء، منجر به ازدیاد و تکثیر سلول‌های پلاسما می‌شود. که متعاقباً این نوع سلولها مقدار زیادی آنتی بادی ترشح می‌نمایند که با آنتی ژنهای آزاد و یا آنتی‌ژنهایی که بر روی سطح غشاء ارگانیسم مهاجم وجود دارند باند می‌شوند. پروتئینهایی شبیه آنتی بادی که در غشاء لنفوسیتهای T قرار دارند امکان اتصال

آنها به سطح سلول خارجی که دارای آنتی ژن مناسب می‌باشد را به وجود آورده و پس از اتصال ، موادی به نام سیتو توکسین را به داخل سلول خارجی ترشح می کنند که باعث نابودی آن می گردند .

نقش غشاء

غشاء پلاسمایی وسیله ای است برای حفظ خصوصیتهای درونی سلول و ضمناً رابطه ای دائمی و مشترک بین محیط داخل وخارج سلول برقرار می کند. ویژگیهای محیط درونی سلول با محیط بیرونی آن تفاوت دارد. به طور مثال ترکیب یونی سلول جانوری غیر از ترکیب یونی پلاسمای خون یا آب میان بافتی است که سلول های جانوران پر سلولی درآن شناورند.

این اختلافات همواره در طول حیات سلول در اثر وجود غشاء پلاسمایی حفظ می گردد. زیرا در داخل شدن و خارج شدن یونها به طور فعال نظارت دارد. به علاوه غشاء پلاسمایی مخصوصاً در سلولهای جانوران عالی گیرنده هایی دارد که نقش آنها قبول مواد شیمیایی اختصاصی است که هر یک از این مواد روی گیرنده ها قرار می‌گیرند و واکنشهایی را به وجود می‌آورند که سلول را به انجام یک سری فعالیتهای اختصاصی وادار می کند.

نقش غشاء پلاسمایی حفظ قابلیت نفوذ پذیری انتخابی سلول است. این خاصیت شرط اساسی ادامه اعمال فیزیولوژی هر سلول زنده است. خواص عمده غشاء پلاسمایی، خاصیت اسمزی، انتشار یا نفوذ غیر فعال و سرانجام انتقال فعال است.

اختلاف غلظت یونی در دو طرف غشاء پلاسما، اختلاف پتانسیل الکتریکی را در دو طرف غشاء همراه دارد . لذا اختلاف یونی و وجود پتانسیل الکتریکی به طور تفکیک ناپذیری با

یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. مایع بین سلولی مقدار زیادی یون سدیم و کلر دارد در صورتی که در مایع داخل سلول، یونهای پتاسیم و آنیونهای آلی زیاد است . با فرو بردن میکروالکترودهایی که قطر آنها از یک میکرون تجاوز نمی‌کند به داخل سیتوپلاسم، می‌توان به وجود اختلاف پتانسیل الکتریکی پی برد. در چنین شرایطی ملاحظه می‌گردد که پتانسیل الکتریکی(پتانسیل استراحت) همیشه در داخل منفی و در خارج از سلول مثبت است . مقدار پتانسیل در بافتها ی مختلف ، متفاوت است و بسته به نوع بافت از ۲۰ الی ۱۰۰ میلی ولت تغییر می‌کند.

پدیده های مربوط به انتقال مواد در گیاهان

گیاهان عالی مانند تمام موجودات زنده به وسیله سطوح خارجی خود از محیط اطرافشان جدا می‌شوند. ولی این سطوح خارجی موانعی غیر قابل نفوذ نیستند. مواد زیادی به درون گیاهان نفوذ می‌کند که سرعت ورود برخی سریع و برخی دیگر آهسته می‌باشد.

این مواد عبارتند از : آب و نمکهای معدنی محلول در خاک ، مواد آلی محلول که از طریق بقایای گیاهی و جانوری در حال فساد به داخل خاک وارد شده اند ، گازهایی از قبیل co_2 که در فتوسنتز برگ استفاده می‌شود و o_2 که در مرحله تنفس در همه سلولهای گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد ، مواد سنتزی و ماکرومولکولهایی مثل ویروسها .

جهت جریان مواد تنها به د اخل گیاهان نیست بلکه o_2 از برگ نیز خارج می‌شودو co_2 آزاد شده در مرحله تنفس نوری از همه سلولهای گیاهی به خارج راه می‌یابد .

مقادیر کمی از یونهای معدنی ومواد متابولیکی آلی به وسیله آب باران از سلولهای برگ ونیز به وسیله آب موجود در خاک از سلولهای ریشه شسته شده و خارج می شود . مراحل مربوط به

نقل و انتقال مواد گیاهان به مبادلات مواد بین گیاه و محیط اطرافش محدود نمی‌شود، بلکه انتقال مواد به طور مداوم در سراسر عمر گیاه بین اندامکهای هر سلول (پلاسما و هسته میتوکندری و...) همچنین بین سلولهای مجاور به هم در یک بافت و نیز از یک بافت و اندام دیگر صورت می‌گیرد . صدها فعل و انفعال که همزمان در یک سلول در حال رشد انجام می‌شود به وسیله غشاء های پروتو پلاسمی از یکدیگر تفکیک می‌شود . این غشاء ها عبارتند از : غشاء پلاسمایی که سیتوپلاسم را احاطه کرده ، غشاء واکوئل (تونوبلاست) وغشاء هایی که اندامکهای سلولی را می‌پوشانند. عبورمواد از طریق این غشاء های سلولی به وسیله مکانیزمهای انتقال مواد کنترل می‌شودکه در داخل خود غشاء هستند.

در عمل ، غشاء های پروتوپلاسمی نه تنها به عنوان موانع وعوامل کنترل کننده ورود مواد بلکه به عنوان پمپ به عوامل کنترل کننده برای خروج آنها نیز عمل می‌کند، در نتیجه محصولات فعل و انفعالات در یک ناحیه از سلول را می‌تواند به عنوان مواد فعل و انفعال کننده دیگر به سایر قسمتهای سلول منتقل کند.

پدیده انتقال مواد در گیاهان همه فعالیتهایی را که در داخل گیاهان و سلولهای گیاهی صورت می‌گیرد هماهنگ ویکنواخت می کند.

مطالعه پدیده های انتقال مواد در گیاهان از مطالعه فعل و انفعالات بیو شیمیایی و نیز وظایف فیزیولوژیک واحد آغاز می‌شود و تا درک عمیقتری از مفهوم فیزیولوژیک سلول ونیز فیزیولوژی گل دهی ادامه می‌یابد.

اسمز

وقتی غشاء بین دومحلول ، نسبت به مولکولهای آب تراوا باشد و نسبت به بعضی از محلولها نفوذ پذیر نباشند این غشاء را غشاء یا پرده نیمه تراوا گویند .

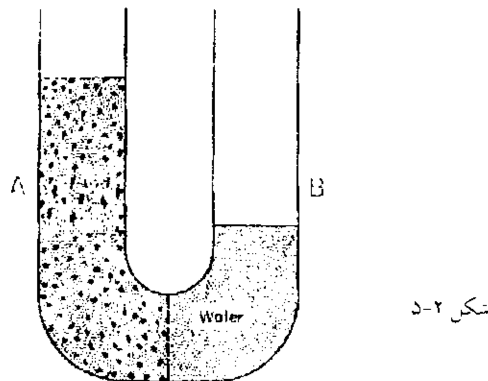
جدار یک سلول زنده نیمه تراوا است . طبیعت نیمه تراوایی یک سلول برای ثابت نگه داشتن غلظتهای مواد شیمیایی در سلول ضروری است . اگر غلظت مواد غیر قابل نفوذ در یک طرف بیشتر از طرف دیگر گردد، در این حال آب از پرده نیمه تراوا گذشته و وارد قسمت غلیظتر می گردد، که این پدیده را اسمز می‌نامند .

اسمز نتیجهٔ حرکت جنبشی مولکولهای موجود در محلول‌های دو طرف غشاء است که آن را به طریق زیر می‌توان توجیه کرد . میزان فعالیت مولکولها بستگی به درجه حرارت دارد.

در شکل ۲-۵ درجه حرارت در دو طرف غشاء یکسان است . و به همین دلیل میزان فعالیت مولکول‌های دو طرف محلول در طرفین غشاء برابر است در ظرف A ذرات ملح غیر قابل نفوذ (که توسط نقاط درشتی نشان داده شده‌اند) ، بعضی از مولکولهای آب را جابجا کرده و بنابراین تعداد مولکول‌های آب را در هر سانتی متر مکعب از محلول تقلیل می‌دهند . نتیجتاً فعالیت کلی مولکول‌های آب روی پرده نیمه تراوا در ظرف A کمتر از ظرف B شده و برخورد مولکولهای آب به منافذ پردهٔ نیمه تراوا در ظرف B بیشتر از ظرف A خواهد بود. بنابراین جریان مولکول‌های آب در جهت $A \leftarrow B$ بیشتر از جهت مخالف خواهد بود. سرعت مطلق جریان آب را به ظرف A سرعت اسمز می گویند.

به نظر می‌رسد که نفوذ آب از خلال یک غشاء نیمه تراوا (اسمز) با نفوذ آزاد مولکولهای حل شونده بسیار متفاوت باشد ، اما این دوفرایند بر اساس اصول کلی مشابه صورت می گیرد. در هر

دو مورد، نفوذ خالص در جهتی انجام می‌شود که غلظت دو قسمت را برابر می کند. در نفوذ آزاد، مولکولهای ماده حل شونده در حلال نفوذ می کند و به غلظت ماده حل شونده در یک طرف غشاء می‌افزاید و از غلظت آن در طرف دیگر می کاهد.



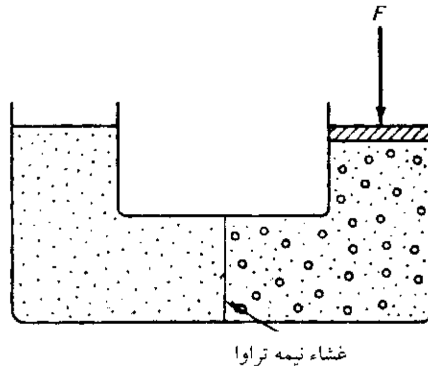
شکل ۲-۵

در فرایند اسمز از نفوذ مولکول‌های ماده حل شونده جلوگیری می‌شود. بنابراین مولکول‌های حلال در محلول ماده حل شونده نفوذ می‌کند و در نتیجه غلظت ماده حل شونده در یک قسمت غشاء کاهش می‌یابد . نفوذ آزاد سریعاً به حالت تعادل می‌رسد. زیرا طولی نمی‌کشد که غلظت‌های دو طرف غشاء برابر می‌شوند.

فشار اسمزی

در شکل ۳-۵ یک پیستون در قسمت چپ قرار داده شده است. با اعمال نیرو بر این پیستون می‌توان فشار (P) محلول شکر را تغییر داد. معلوم شده است که اگر P افزایش یابد آهنگ جریان آب به درون محلول شکر کاهش می‌یابد. به ازای فشار خاص P_{os} جریان به طور کامل قطع می‌شود و اگر فشار از P_{os} بیشتر شود، اسمز معکوس رخ می‌دهد . یعنی آب از محلول شکر خارج شده و دوباره به قسمت راست نفوذ می‌کند. فشار P_{os} را که به ازای آن

اسمز قطع می‌شود فشار اسمزی محلول می‌نامند. این فشار، معیاری از تمایل آب برای نفوذ در محلول شکر است.



شکل ۳-۵

در شکل فوق مولکول‌های شکر در میان پیستون وغشاء محبوس شده اند در حالی که مولکولهای آب آزادانه از غشاء عبور می‌کنند. مولکول‌های شکر مانند یک گاز محبوس عمل می‌کنند و اگر محلول رقیق باشد فشار اسمزی را می‌توان به عنوان فشار P_s این گاز در نظر گرفت و آن را از قانون گاز ایده آل به دست آورد.

$$P_s = \frac{nRT}{V} \qquad ۵_۱$$

در اینجا V حجم محلول و n تعداد مولهای ماده حل شونده در محلول است. با استفاده از معادله $c = \frac{n}{v}$ می‌توان رابطهٔ فوق را به این صورت نوشت :

$$P_s = CRT \qquad ۵_۲$$

فشار گاز ماده حل شونده در برابر حرکت پیستون مقاومت می‌کند. اگر فشار P که پیستون اعمال می‌کند از فشار P_S ماده حل شونده کمتر باشد ، ماده حل شونده منبسط می‌شود. یعنی آب به قسمت چپ نفوذ می‌کند و باعث افزایش حجم شاره در این قسمت و رقیق شدن محلول می‌گردد. اگر فشار P از فشار P_S بیشتر باشد ماده حل شونده متراکم می‌گردد. یعنی آب از قسمت چپ خارج شده و باعث کاهش حجم شاره در این قسمت و غلیظ شدن محلول

می‌شود.اگر P با Ps مساوی شود آب به محلول وارد یا از آن خارج نمی‌شود، بنابراین Ps با فشار اسمزی محلول برابر است.

$$P_{os} = P_s = CRT \qquad ۳_۵$$

غالباً آب در قسمت راست تحت فشار جو Po قرار دارد. برای جلوگیری از اسمز در این حالت باید فشار مطلق محلول $P_o + P_{os}$ باشد. یعنی اگر فشار محلول به اندازه فشار اسمزی P_{os} از فشار آب بیشتر باشد اسمز قطع می‌شود.

با استفاده از گلبولهای قرمز، تخم توتیا و بعضی از سلولهای گیاهی به سهولت می‌توان اسمز و انتشار را از ورای غشاء سلولی نشان داد.

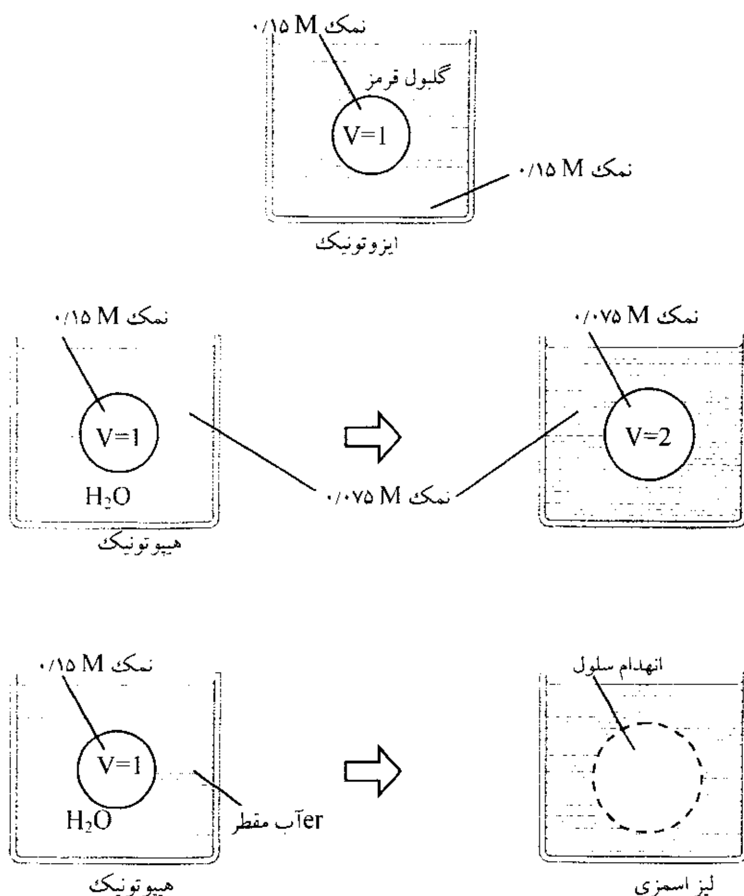
غلظت نمک غیر قابل نفوذ (۰/۱۵M Nacl) در پلاسمایی که گلبولهای قرمز در آن غوطه ورند و در سیتوپلاسم اریتروسیت (۰/۱۵ M Kcl) یکسان می‌باشد.

پلاسمای نرمال نسبت به گلبول قرمز ایزوتونیک است. اگر پلاسما با آب رقیق شود، غلظت نمک آن کاهش یافته وپلاسما نسبت به گلبول قرمز هیپوتونیک می گردد.

هر محلولی که دارای غلظت کمتری از مواد غیر قابل نفوذ نسبت به غلظت مواد در سیتوپلاسم سلولی که در آن محیط غوطه ورند باشد را هیپوتونیک می گویند، در این گونه موارد آب از محیط اطراف به داخل سلول جریان می‌یابد. مقدار آبی که به درون سلول نفوذ می‌نماید بستگی به میزان هیپوتونیک بودن محیط خواهد داشت .

برای مثال اگر گلبول های قرمز در محیطی که غلظت نمکها در آن $\frac{1}{2}$ مقدار طبیعی باشد غوطه ور گردد، آب تا زمانی به داخل سلولها نفوذ می‌نماید که حجم آنها دو برابر میزان اولیه افزایش یابد. در اثر این پدیده غلظت نمک داخل سلول ، به نصف تقلیل می‌یابد و تعادل بین

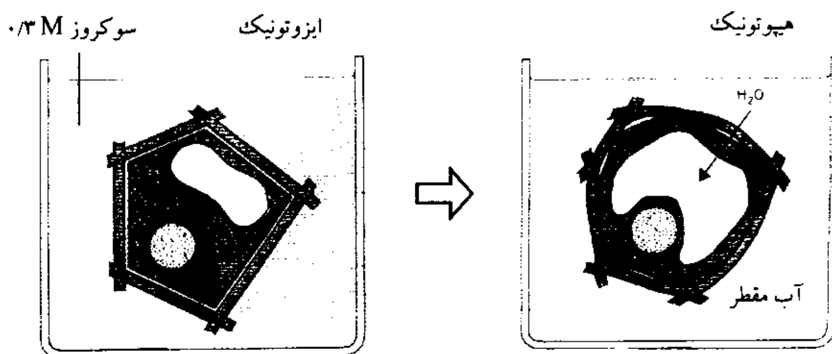
دو محیط حاصل می‌گردد. اگر سلولها در محلولی که دارای هیپوتونیسیته بالاتری هستند، غوطه ور شوند، بنابراین مقدار آبی که برای کاهش غلظت نمک داخل، باید به درون سلول راه یابد به همان نسبت بیشتر خواهد بود. واضح است که سلولها تا حد معینی فشار حاصل از تورم در اثر ورود آب را می‌توانند تحمل کنند و اگر فشار از آن مقدار بیشتر شود به پاره شدن غشاء و انهدام سلول منجر می‌گردد. این پدیده را لیز اسمزی می خوانند.



شکل ۴-۵

گلبولهای قرمز اگر در محیطهای بسیار رقیق نمکی یا آب مقطر قرار داده شوند لیز می‌شوند که این فرایند را همولیز می گویند. زیرا هموگلوبین از گلبولهای قرمز به درون محیط اطراف آزاد می گردد. سلولهای جانوری دیگر نیز اگر در محیطهای هیپوتونیک قرار گیرند رفتار مشابهی را بروز می‌دهند.

سلولهای گیاهی حتی اگر در آب مقطر هم قرار داده شوند معمولاً لیز نمی‌شوند چون تورم سلولی به واسطه وجود دیواره سلولزی غیر قابل انعطاف، کنترل می گردد. تورم سلول های گیاهی در محیط هیپوتونیک با ورود آب به داخل واکوئولهای موجود در سیتوپلاسم، در اثر اسمز حاصل می گردد. این حالت متورم سلول گیاهی را تورژسانس می گویند(شکل۵-۵).

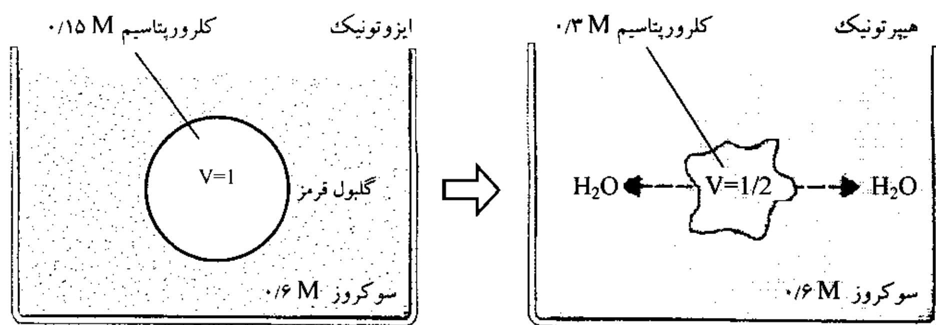


شکل ۵-۵

غلظتهای مساوی از نمکهای قابل یونیزه و مولکولهای غیر یونیزه (مانند سوکروز و قندهای دیگر) اثرات اسمزی یکسانی نمی‌توانند داشته باشند. برای مثال M ۰/۱۵ کلرورسدیم دو برابر همین مقدار سوکروز، فشار اسمزی ایجاد می‌نماید. علت این مسأله به خاطر تجزیه کلرور سدیم به یونهای Na^+ و CL^- در آب می‌باشد و بدین نحو تعداد ذرات در هر سانتی متر مکعب نسبت به M ۰/۱۵ سوکروز به دو برابر افزایش می‌یابد.

بنابراین کلیه عناصری که بتوانند غلظت ذرات مساوی ایجاد نمایند دارای فشار اسمزی یکسانی خواهند بود. برای مثال محلولهای ۰/۱۵ M Nacl ، ۰/۱۵ M Kcl، ۰/۱۰ M $Cacl_2$ و سوکروز ۰/۳ M همه فشار اسمزی برابری را ایجاد می‌نمایند.

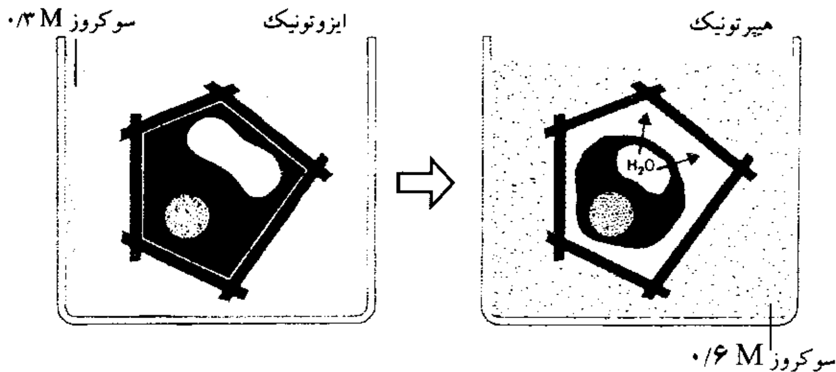
اکثر غشاءهای پلاسمایی و همچنین غشاء گلبولهای قرمز نسبت به سوکروز نفوذ ناپذیرند . بنابراین ۰/۱۵ M Nacl و سوکروز ۰/۳ M هر دوبرای گلبول قرمز ، ایزوتونیک محسوب می‌گردند . محلولهایی که حاوی غلظتهای بیشتری از مواد نفوذ ناپذیر نسبت به آنچه در داخل سلول وجود دارد باشند را هیپرتونیک می‌گویند. در شکل ۶-۵ وضعیت گلبول قرمز زمانی که در محلول هیپرتونیک قرار داده شود، نشان داده شده است.



شکل ۶-۵

خروج آب از سلول در اثر اسمز باعث چروکیده شدن سلول می‌گردد و به علت کاهش حجم سیتوپلاسم غشاء حالت چین خورده و کنگره مانند به خود می‌گیرد.

زمانی که سلولهای گیاهی در محیط هیپرتونیک قرار گیرند، آب از واکوئولها به فضای موجود بین غشاء پلاسمایی و دیواره سلولی جریان می‌یابد، که این پدیده را پلاسمولیز می گویند.



شکل ۷-۵

تا کنون فقط جریان آب به داخل یا خارج سلول مورد بحث قرار گرفته است. حال اگر غلظت مواد نفوذ پذیر در خارج سلول بیشتر از محیط داخلی آن باشد این گونه مواد به داخل سلول نشست نموده و باعث ایجاد غلظت متعادل در داخل وخارج سلول می‌گردند.

اگر گلبول قرمز در محلول سالین ایزوتونیک (مثلاً ۰/۱۵ M Nacl) قرار داده شود که حاوی ۰/۱ M اوره نیز باشد، چون غشاء گلبول قرمز نسبت به اوره تراوا می‌باشد (در شرایط طبیعی این سلولها دارای مقدار بسیار ناچیز یا کلاً فاقد اوره می‌باشند)، بنابراین مولکولهای اوره تا زمانی که حالت تعادل ایجاد گردد به داخل سلول انتشار می‌یابند حتی پس از به وجود آمدن تعادل در غلظت اوره بین محیط داخل وخارج سلول نیز مولکولهای اوره در طرفین غشاء پلاسمایی تبادل می‌یابند.

البته چون این تعادل به داخل و خارج سلول یکسان می‌باشد تغییری در غلظت اوره سلول به وجود نمی‌آید، اگر سلول ها به محلول سالین ایزوتونیک که فاقد اوره می‌باشد انتقال داده شوند ،مولکولهای اوره به خارج سلول انتشار می‌یابند، بسیاری از عناصر توسط انتشار از طریق غشاء پلاسمایی به سلول وارد گشته یا آن را ترک می نمایند.

اثر تعادل دو نان بر فشار اسمزی کلوئیدی

پدیده گیبس ـ دو نان تأثیر پروتئینها را بر روی توزیع متعادل یونهای کوچک از ورای غشاءهایی با تراوایی انتخابی را توضیح می‌دهد. زمانی که دو محلول الکترولیت که یکی حاوی پروتئین و دیگری فاقد آن می باشد، توسط غشایی با تراوایی انتخابی از یکدیگر جدا گردند. حالت تعادل برای هر یون نفوذپذیر در دو طرف غشاء یکسان نخواهد بود. بلکه غلظت یونهای کوچک که دارای بار الکتریکی یکسان با پروتئین هستند در طرفی که حاوی پروتئین (داخل سلول) می‌باشد کمتر خواهد بود و غلظت یونهای حاوی بار مخالف با پروتئین در همین طرف بیشتر می‌باشد. پدیده گیبس ـ دو نان بر روی توزیع متعادل مواد غیر یونیزه مانند گلوکز و اوره تأثیری نمی‌گذارد.

اکنون پدیده دو نان را با در نظر گرفتن مثال ذیل بررسی می‌کنیم ، فرض کنید دوظرف با حجم مساوی و ثابت توسط غشاء پلاسمایی که به یونهای کوچک، تراوا ولی نسبت به پروتئینها غیر تراوا می‌باشد، از یکدیگر جدا شده باشند. در ظرف شماره یک، محلولی از سدیم و پروتئین (Napr) با غلظت C_1 ودر ظرف شماره دو محلول NaCl با غلظت C_2 ریخته شده است.

چون یونهای کلراید نفوذ پذیرند وغلظت آنها در ظرف شماره دو بیشتر از ظرف شماره یک می‌باشد، (ظرف شماره یک در شروع آزمایش فاقد cl^- است) بنابراین Cl^- به داخل ظرف شماره یک انتشار می‌یابد. برای حفظ حالت خنثی بودن الکتریکی ظروف، انتشار cl^- به داخل ظرف شماره یک بایستی با انتشار مقدار متساوی از Na^+ همراه باشد. در نتیجه ظرف شماره دو، دارای مقدار متساوی ولی کاهش یافته از یونهای Na^+ Cl^- خواهد بود. طبق قانون اثر جرم در

حالت تعادل غلظت یونهای قابل نفوذ در هر ظرف مساوی خواهد بود. بنابراین اگر غلظت cl^- که از ظرف شماره دو به داخل ظرف شماره یک انتشار می‌یابد x در نظر گرفته شود(البته غلظت Na^+ که به همراه cl^- نیز انتشار می‌یابد، برابر x خواهد بود) پس در حالت تعادل

$$(C_1 + X)(X) = (C_2 - X)(C_2 - X) \quad ۵-۴$$

$$C_1X + X^2 = (C_2)^2 - 2C_2X + X^2$$

$$C_1X = (C_2)^2 - 2C_2X$$

$$X = \frac{(C_2)^2}{C_1 + 2C_2} \quad ۵-۵$$

رابطه ۵-۵ را معادله گیبس ـ دو نان می‌نامند و برای به دست آوردن توزیع متعادل یونها، بین دو قسمت یک سیستم که یکی محتوی پروتئین ودیگری فاقد پروتئین باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تا به حال بحث در ارتباط با سیستمی بود که در آن حجم ثابت و مساوی در نظر گرفته شده بود، که البته در مورد سلول ومحیط اطرافش این مسأله لزوماً صدق نمی‌کند. خاصیت انعطاف پذیری غشاء پلاسمایی امکان نوسانات قابل ملاحظه ای را در شکل و حجم سلول به وجود می‌آورد. فشار اسمزی بیشتری که در اثر پدیده دو نان در داخل سلول به وجود می‌آید، باعث داخل شدن آب به سلول می‌گردد که این خود به افزایش حجم سلول وکاهش غلظت یونی آن منجر می‌شود. بدین نحو تعادل دو نان که قبلاً حاصل شده بود به هم می‌خورد و تعادل جدیدی با عبور یونهای نفوذ پذیر اضافی به داخل سلول ایجاد می‌گردد. توقف اسمز، زمانی صورت می‌پذیرد که فشار هیدرواستاتیک تولید شده به وسیله آب داخل سلول با فشار اسمزی حاصل از املاح محلول سلولی به تعادل برسند.

انتشار مواد

تمام مولکولها و یونهای موجود در مایعات بدن، به طور دائم در حال حرکت می‌باشند و در داخل یک محیط مایع، هر ذره مسیر جدا و مخصوص به خود را طی می کند که این جنبش در هیچ یک از شرایط، غیر از درجه حرارت صفر مطلق متوقف نمی گردد.

وقتی یک مولکول با مولکول دیگر برخورد می کند نیروی الکترواستاتیک آن، مولکول دوم را دفع کرده و انرژی جنبشی آن را در این لحظه افزایش می‌دهد در حالی که انرژی خود را از دست می‌دهد. در نتیجه مولکول دوم سریعتر از قبل حرکت نموده و مولکول اول حرکتش کندتر می شود و شاید برای یک لحظه از حرکت باز ایستد. همچنین مولکولها ممکن است ابتدا در یک جهت و سپس در جهات دیگر دفع شوند.

مسافت هایی که یک مولکول طی می کند تا به مولکول‌های دیگر برخورد نماید و تغییر مسیر دهد گاه کوتاه وگاه طولانی است. این حرکت دائمی مولکولها، در مایعات وهمچنین در گازها همان انتشار یا Diffusion می‌باشد. یونها و ذرات کلوئیدی معلق نیز مانند همه مولکولها به همین طریق منتشر می‌شوند به استثنای اینکه درشتی زیاد ذرات کلوئیدی باعث می‌شود که سرعت انتشار آنها خیلی کمتر از مواد دیگر باشد.

سرعت انتشار یک مولکول با اندازه مولکولی نسبت عکس دارد. زیرا هر قدر یک مولکول درشت تر باشد به همان اندازه دفع آن به وسیله سایر مولکولها مشکل تر بوده و به علاوه سرعت انتشار آن نیز کمتر خواهد بود .

سرعت انتشار در گازها با جذر وزن مولکولی و در مایعات با وزن مولکولی نسبت معکوس دارد، پس :

۱ـ سرعت انتشار با گرادیان انتشار نسبت مستقیم دارد.

۲ـ سرعت انتشار با وزن مولکولی نسبت عکس دارد.

۳ـ هر اندازه فاصله کمتر باشد سرعت انتشار بیشتر خواهد بود.

۴ـ سرعت انتشار بستگی به وسعت مقطع محل انتشار دارد. هر قدر مقطع محل انتشار بزرگتر باشد سرعت انتشار بیشتر خواهد بود.

۵ـ سرعت انتشار با درجه حرارت نسبت مستقیم دارد.

با استفاده از روابط فوق فرمول زیر برای سرعت انتشار به دست می‌آید.

$$\text{سرعت انتشار} = \frac{\text{درجه حرارت} \times \text{مقطع محل انتشار} \times \text{گرادیان انتشار}}{\text{مسافت} \times \text{وزن مولکولی}} \qquad ۶ - ۵$$

یونها ومولکولهای بزرگ یونی شده علاوه بر اینکه توسط انتشار واسمز از غشاء عبور می‌کنند، به وسیله ناقل‌های موجود در غشاء هم می‌توانند عبور کنند. یعنی آب ومولکول‌های غیر قطبی را با پخش ساده از یک طرف غشاء به طرف دیگر جابجا می‌کند، ولی برای انتقال بسیاری از مواد مانند قندها، اسیدهای آمینه، یونها و نوکلئوتیدها، پروتئینها ی ناقلی وجود دارد که این وظیفهٔ حمل ونقل را انجام می‌دهد. هر پروتئین ناقل طوری ساخته شده است که حمل ونقل گروه مخصوصی از مولکولها مانند یونها، قندها و اسیدهای آمینه را به عهده دارد. این ویژگی، اختصاصی بودن ناقل را به خوبی نشان می‌دهد. در انتقال با واسطه دوحالت وجود دارد، انتشار تسهیل شده و انتقال فعال.

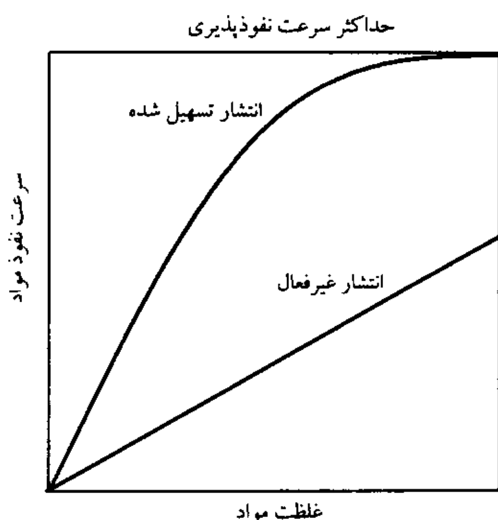
انتشار تسهیل شده

بعضی از مواد مانند قندها و اسیدهای آمینه با سرعتی بسیار بیشتر از آنچه که بر مبنای پارامترهایی نظیر اندازه، شارژ، ضریب توزیع و یا بزرگی شیب غلظت‌شان انتظار می‌رود از غشاء عبور کرده و وارد سلول می‌گردند. عقیده بر این است که این افزایش سرعت حمل و نقل، به خاطر وجود ساختارهای حامل در داخل غشاء می‌باشد.

درخلال انتشار تسهیل شده افزایش غلظت مواد تا حد معینی سرعت عبور آنها را از غشاء افزایش می‌دهد. در صورتی که غلظت بیش از این حد معین افزایش یابد، تأثیری در سرعت حمل ونقل نخواهد داشت. به عبارت دیگر انتشار تسهیل شده کینتیک اشباع را به نمایش می‌گذارد(شکل۷-۵) و بنابراین شبیه رابطه بین سرعت واکنش و غلظت سوبسترا در واکنشهای آنزیمی می‌باشد. بقیه مشخصات انتشار تسهیل شده نیز قابل مقایسه با کاتالیز آنزیمی می‌باشد. برای مثال اختصاصی و ویژه بودن حمل و نقل را می‌توان نام برد.

در اریتروسیتها انتشار گلوکز به داخل سلول تسهیل می‌گردد ولی در مورد فروکتوز و لاکتوز این مکانیزم، عمل نمی‌کند. و یا سرعت عبور مواد در صورت حضور مواد شیمیایی با ساختمان مشابه تحت تأثیر قرار می‌گیرد که شبیه مهار رقابتی آنزیمها می‌باشد. همچنین انتشار تسهیل شده نیز، متکی و وابسته به PH می‌باشد. اگر چه انتشار تسهیل شده باعث ایجاد سریعتر تعادل غلظت در دو طرف غشاء نسبت به انتشار عادی می‌گردد، ولی تعادل طبیعی غلظت تغییر نمی‌کند و مواد بر خلاف شیب غلظت انتقال نمی‌یابند.

مهار کننده های متابولیکی برروی انتشار تسهیل شده تأثیر ندارند ولی مهارکننده های آنزیمی بر روی آنها اثر می گذارند.



شکل ۸-۵

انتقال فعال

انتقال فعال به معنای حمل مواد از غشاء سلول به وسیله اعمال شیمیایی است که با انتشار ساده از غشاء سلول فرق می‌کند. برای انتقال فعال مواد از غشاء سلول مقداری انرژی لازم است. زیرا اولاً حاملها برای انجام فعل و انفعال شیمیایی احتیاج به مقداری انرژی دارند. ثانیاً این انرژی برای حرکت دادن مواد از یک محیط کم غلظت به محیط غلیظ تر بسیار ضروری است.

مکانیزم انتقال فعال

منحنی های انتقال فعال خیلی شبیه به منحنی های سرعت واکنشهای آنزیمی با توجه به غلظت ماده تغییر یابنده (سوبسترا) است. بنابراین تصور عمومی بر این است که مکانیزم انتقال فعال شبیه مکانیزم کاتالیزوری آنزیم ها است. درست مانند یک آنزیم که ابتدا با یک یون یا یک مولکول به خصوصی پیوند ایجاد می‌کند و سپس یونها و یا مولکولهای محصول واکنش آنزیم را آزاد می‌کند. یکی از اجزاء و مواد به خصوص تشکیل دهنده غشاء پروتوپلاسمی (ناقل) با یونها و یا مولکولها پیوند ایجاد می‌کند و سپس آنها را در طرف دیگر غشاء آزاد

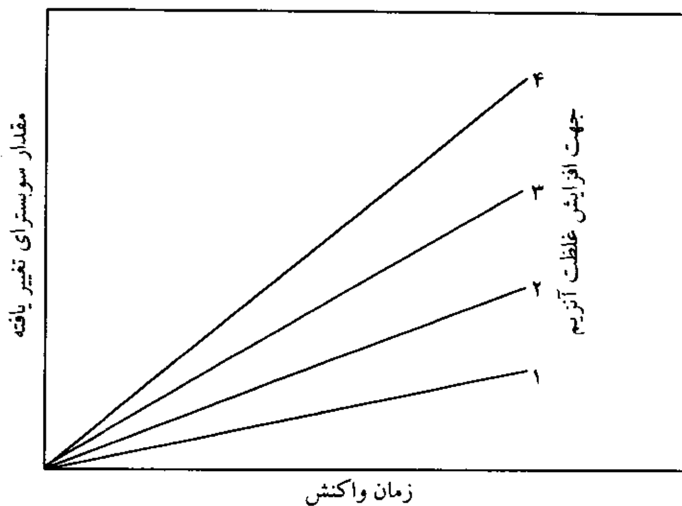
می‌سازد. مولکولهای ناقل بر خلاف مولکولهای آنزیمها هنوز از سلولهای گیاهی استخراج و تخلیص نشده اند. مراحل مختلف انتقال فعال را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱ـ ایجاد پیوند بین ماده مورد انتقال و یکی از مواد تشکیل دهنده غشاء.

۲ـ ماده مورد انتقال در عرض غشاء حرکت داده می‌شود. این حرکت ممکن است در اثر یک تغییر ساختمانی که به هنگام پیوند شدن کاریير با یون یا ماده مورد انتقال در کاریير ایجاد شده است انجام شود.

۳ـ کمپلکس یون(مولکول) ـ کاریير در سطح داخلی غشاء پروتوپلاسمی تجزیه می‌شود و در نتیجه یون یا مولکول مربوطه آزاد می‌شود. یک سیستم انتقال فعال به عنوان یک پمپ نامیده می‌شود. یک ماده که از طریق انتقال فعال منتقل می‌شود، گفته می‌شود که در عرض غشاء پروتوپلاسمی پمپ می‌شود. پمپهای یونی و مولکولی گوناگونی در داخل یک غشاء پروتوپلاسمی وجود دارند. که شامل یک پمپ پروتون، یک پمپ برای یون K ، یک پمپ برای یون Ca^{2+} و نیز پمپ های دیگر برای یونهای Cl^- و So_4^{2-} و گلوکز و ساکاروز و .. می‌باشد.

برخی از پمپ ها یک ماده را، از خارج یک سلول گیاهی به داخل آن سلول منتقل می‌کنند و برخی دیگر از پمپ ها، ماده را از داخل یک سلول یا اندامک به خارج از آن منتقل می‌کنند. همچنین برخی از پمپ ها دو ماده را در یک جهت و یا هر یک را در جهت مخالف دیگری در عرض غشاء منتقل می‌کنند. بسیاری از موادی که از طریق انتقال فعال منتقل می‌شوند در نتیجه تولید یک نیروی محرکهٔ پروتون در عرض غشاء است.



شکل۹-۵

تأثیر عوامل فیزیکی بر سرعت انتشار خالص

سرعت انتشار خالص که به تبادل مواد بین دو سوی غشاء می‌پردازد تابع عوامل مختلفی است که در ذیل به آن اشاره می شود.

۱ ـ ضخامت غشاء : با افزایش ضخامت سرعت انتشار کمتر خواهد بود.

۲ ـ قابلیت انحلال در چربی : هر چه قابلیت حل شدن ماده در لایه لیپیدی بیشتر باشد مقدار ماده ای که در غشاء حل می‌شود بیشتر و در نتیجه سرعت نیز افزایش می‌یابد .

۳ ـ تعدادکانالهای پروتئینی : هر چه تعداد کانالها بیشتر باشد مشخصاً سرعت انتشار نیز زیادتر است.

۴ـ دما : دما باعث افزایش انرژی جنبشی مواد شده و در نتیجه سرعت انتشار افزایش می‌یابد.

۵ ـ وزن مولکولی ماده : عوامل فوق نسبت مستقیم با سرعت انتشار دارد ولی سرعت انتشار با وزن مولکولی ماده نسبت معکوس دارد ، بنابراین هر چه وزن مولکولی بیشتر باشد سرعت انتشار کاهش می‌یابد.

$$\text{نفوذ پذیری غشاء} = \frac{\text{تعداد کانالهای موجود در واحد سطح} \times \text{دما}}{\text{مقاومت کانالها در واحد طول} \times \text{طول کانال} \times \text{جذر وزن مولکولی}}$$

۶ ـ ضریب انتشار : عامل مهم دیگر در سرعت انتشار می‌باشد. این عامل بستگی به مساحت سطح غشا ء دارد. برای تعیین نفوذ پذیری کل یک غشاء سلولی ، باید نفوذپذیری غشاء (حرکت مواد از واحد سطح) را در سطح کل غشاء ضرب نموده این نفوذپذیری به صورت ضریب انتشار برای کل غشاء محسوب می‌شود.

۵ ـ ۸ $$D = P \times A$$

D برابر است با ضریب انتشار، P نفوذپذیری و A مساحت کل سطح است.

۷ ـ اختلاف غلظت : با فرض اینکه غلظت یک ماده در خارج از غشاء بیشتر از داخل آن باشد، انتشار ماده به طرف داخل متناسب با غلظت ماده در خارج غشاء است. زیرا این افزایش غلظت در خارج است که مشخص می‌کند چه تعدادی از مولکولها در واحد زمان (ثانیه) به دهانه خارجی منفذ غشاء برخورد می‌کنند. در نتیجه انتشار خالص به طرف داخل سلول متناسب با غلظت در خارج منهای غلظت در داخل است.

۵-۹ (غلظت ماده در داخل ـ غلظت ماده در خارج) = دیفوژن خالص

۸ ـ اختلاف پتانسیل الکتریکی : این عامل بر روی انتشار یونها موثر است.

۹ ـ اختلاف فشار : این عامل باعث اعمال نیرو به غشاء می‌شود. در نتیجه در طرفی که فشار بیشتر از طرف دیگر است مولکولهایی که در هر ثانیه به کانالها برخورد می‌کنند بیشتر از طرف دیگر است. در نتیجه انتشار خالص از طرف پر فشار به طرف کم فشار صورت می‌گیرد.



بیو انرژی

مبدلهای انرژی

تمام جانداران جهت انجام فرآیندهای حیاتی ومعمولی روزانه، به انرژی نیاز دارند. موجودات زنده برای رشد، حرکت و ... نیاز به میزان زیادی انرژی دارند.

انرژی به صورتهای گوناگون وجود داردو می‌توان آن را از یک شکل به شکل دیگر درآورد. قانون اول ترمودینامیک، قانون بقای انرژی است. یعنی انرژی نه به وجود می‌آید و نه از بین می‌رود، بلکه از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌شود. حرارت و نور دو شکل متفاوت انرژی می‌باشند. انرژی که به زمین می‌رسد از نور خورشید است. گیاهان سبز طی فرایند فتوسنتز

انرژی نورانی را به انرژی شیمیایی تبدیل می کنند. این انرژی در مواد شیمیایی تولید شده و در فرایند فتوسنتز ذخیره می‌شود. ترکیبات به وجود آمده در فتوسنتز مواد قندی نظیر گلوکز می‌باشند که قندها انرژی ساخته شدن دیگر مواد غذایی را فراهم می کنند. بنابراین گیاهان سبز اولین حلقه در هر زنجیره غذایی می‌باشند . علفخواران، انرژی مورد نیاز خود را از گیاهان وگوشتخواران، با خوردن علفخواران بخشی از این انرژی را دریافت می کنند. از انرژی نورانی خورشید در یک راه ویژه نیز استفاده می کنند.

در نیروگاهها، سوختهای فسیلی مثل زغال سنگ و نفت که از تغییر وتحول بدن گیاهان و جانداران قدیمی طی میلیونها سال به وجود آمده اند، استفاده می‌شود.

انرژی که از این نوع سوختها به وجود می‌آید ناشی از رها شدن انرژی نورانی خورشید است که میلیونها سال قبل در آنها ذخیره شده است. همچنین می‌توان انرژی ذخیره شده در سوختهای فسیلی را به انرژی الکتریکی تبدیل و یا به صورت انرژی نورانی وگرمایی به مصرف رسانید.

بعضی از جانواران وگیاهان انرژی را به صورتهای دیگر انرژی تبدیل می کنند ، به عنوان مثال جانوران و گیاهان ویژه ای قادر به تولید نور می‌باشند. حتی بعضی از ماهیها می‌توانند تولید الکتریسیته نمایند.

یکی از شناخته شده ترین جانورانی که تولید نور می کنند، حشره ای به نام « حشره شب تاب » است. این حشره قادر است در زمان کوتاهی یکباره نور تولید کند. کرم شب تاب یکی دیگر از حشراتی است که قادر به انجام این کار است.

تولید نور توسط حشره شب تاب و کرم شب تاب به این صورت است که آنها نور را توسط یک ماده شیمیایی به نام لوسی فرین تولید می‌کنند. این ماده بیشتر شبیه به رنگدانه کلروفیل در گیاهان سبز است. بر خلاف نوری که در لامپها یا شمع تولید می‌شود، نوری که توسط حشره شب تاب و کرم شب تاب تولید می‌شود ،گرمایی ندارد.

بسیاری از تک سلولی‌های میکروسکوپی گیاهی و جانوری که در دریاچه ها و دریاها زندگی می‌کنند ، در تاریکی می‌درخشند. این پدیده بیولومینسانس نامیده می‌شود. دانشمندان قادر به درک چگونگی انجام این فرایند نیستند . اما مشخص است که طی آن انرژی شیمیایی مواد غذایی مجدداً به انرژی نورانی تبدیل می‌شود. بعضی از جانوران انرژی الکتریکی تولیدمی‌کنند. نوعی مار ماهی قادر است به طور ناگهانی انرژی الکتریکی تولید کند که گاهی اوقات شدت آن به ۵۵۰ ولت هم می‌رسد. مقدار الکتریسیته ای که در یک زمان در بعضی از ماهیها تولید می‌شود گاهی برای روشن کردن ۲۰ لامپ، یا بیشتر کافی است. که از این الکتریسیته جهت دفاع و یا شکار استفاده می‌شود. مقدار این جریان به قدری زیاد است که برای از بین بردن یک انسان هم کافی است. الکتریسیته توسط بخشهای ویژه ای از بدن ماهی که از بافت ماهیچه ای ساخته شده است، تولید می‌گردد، این بخشها که در سرتاسر بدن قرار دارند، بیشتر شبیه به سلولهای یک باتری معمولی هستند.

اصول بیوانرژیک

اغلب سلولها انرژی را با انجام واکنش های شیمیایی انرژی زا بدست می آورند. برخی نور خورشید را به عنوان منبع انرژی مورد استفاده قرار می دهند. ولی در این مورد نیز انرژی نوری برای مفید بودن در انجام کار سلولی بایستی به انرژی شیمیایی تبدیل شود.

در جریان هر واکنش شیمیایی، انرژی قابل دسترس برای انجام کار مفید آزاد شده یا جذب می گردد. مقدار انرژی آزاد شده یا جذب شده را در جریان یک واکنش، تغییر انرژی آزاد واکنش می نامند و با ΔG نمایش می دهند. بنابراین تغییر انرژی آزاد را می توان انرژی مفید نام نهاد. ΔG را برحسب کالری بیان می نمایند و این امر صرفاً جهت سهولت است. زیرا انرژی آزاد همیشه به صورت گرما نمی باشد بلکه به شکل انرژی شیمیایی هم وجود دارد. اگر ΔG یک واکنش شیمیایی ، ارزش منفی داشته باشد (به عنوان مثال ۸۰۰۰- کالری) واکنش، انرژی زا و اگر ΔG مثبت باشد (به عنوان مثال ۳۰۰۰ + کالری) واکنش، انرژی خواه خواهد بود. تراکم مواد واکنش گر ΔG، یک واکنش شیمیایی را تحت تأثیر قرار می دهد و برای مقایسه انرژیتیک انواع واکنش های پایه باید بکار برده شود. برای مقایسه، فرض بر این است که تراکم همه مواد واکنشگر برابر یک مول، در حالت پایدار می باشد و آنرا تراکم استاندارد می نامند.

تحت شرایط تراکم استاندارد، تغییر انرژی آزاد (ΔG) یک واکنش را با اصطلاح ویژه ΔG^0 نمایش می دهند. به عبارت دیگر ΔG^0 مقدار انرژی آزاد، رها شده (یا جذب شده) است، به هنگامی که یک مول از واکنشگر به یک مول فرآورده در گرمای ۲۵ درجه سانتیگراد و فشار یک اتمسفر تبدیل می شود.

ΔG^0 تا تغییر انرژی آزاد استاندارد متناسب با ثابت تعادل k_{eq} واکنش شیمیایی است.

طبق تساوی: $$\Delta G^0 = -RTLnk_{eq}$$

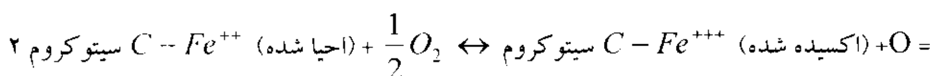
در این معادله، R، ثابت گاز، T، درجه حرارت مطلق، k_{eq}، ثابت تعادل می باشد و هر گاه ΔG^0 منفی باشد،k_{eq} بیش از واحد بوده ، شرایط جهت تولید فرآورده ها مناسب می باشد. اگر ΔG^0 مثبت باشد k_{eq}، کمتر از واحد بوده و واکنش شیمیایی در جهت عکس پیش می رود. ΔG^0 برای یک واکنش را می توان از روی ثابت تعادل واکنش با به کار گرفتن تساوی بالا محاسبه نمود.

می توان انرژی یک واکنش شیمیایی را به شکل پتانسیل الکتریکی بدست آورد. برعکس می توان ، انرژی پتانسیل الکتریکی را برای یک واکنش شیمیایی بکار برد. انرژی الکتریکی به هنگامی که الکترونها از ماده ای رها می شود واکسیداسیون صورت می گیرد، تولید می شود. هنگامی که الکترونها، افت پتانسیل پیدا می کنند یا به عبارت دیگر، به سطح پایین تری از انرژی سقوط می کنند انرژی رها می شود. رابطه بین اختلاف پتانسیل اکسیداسیون ـ احیا و تغییر انرژی آزاد استاندارد به صورت زیر نوشته می شود.

$$\Delta G^0 = -nFE^0$$

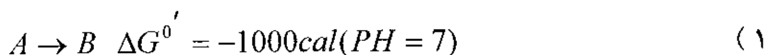
در این رابطه n، تعداد مول الکترونهای انتقال یافته در واکنش و F ثابت فاراده و E^0 اختلاف پتانسیل اکسیداسیون ـ احیا استاندارد است.

به عنوان مثال ΔG^0 را برای واکنشی که در آن سیتوکروم c بوسیله اکسیژن از حالت فرو به حالت فریک اکسیده می شود با $E^0 = +0.56V$ محاسبه می شود.

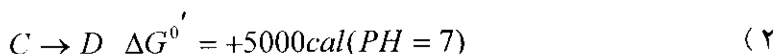


$$\Delta G^0 = -2(23.06)(0.56)$$
$$\Delta G^0 = -25.828 cal / mol$$

جهت ادامه یافتن زندگی، لازم است که انرژی آزاد شده از واکنشهای انرژی زا برای انجام واکنشهای انرژی خواه به مصرف برسد . اصول پایه این است که واکنشگر مشترک باید وجود داشته باشد. این فرایند با مثال زیر بهتر روشن می شود. به دو واکنش کلی زیر توجه کنید :



$$A \rightarrow B \quad \Delta G^{0'} = -1000cal(PH = 7) \qquad (۱$$

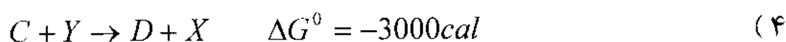


$$C \rightarrow D \quad \Delta G^{0'} = +5000cal(PH = 7) \qquad (۲$$

انرژی رها شده در واکنش (۱) را که انرژی زاست می توان برای انجام واکنش (۲) که انرژی خواه می باشد با همراه کردن آندو با هم بصورت زیر به مصرف رسانید :



$$A + X \rightarrow B + Y \quad \Delta G^{0} = -2000cal \qquad (۳$$



$$C + Y \rightarrow D + X \quad \Delta G^{0} = -3000cal \qquad (۴$$

در اینجا Y واکنشگر مشترک دو واکنش است. در واکنش اول (۳)، مقدار کل ΔG^0 برابر ۲۰۰۰- کالری ، نشان می دهد که ۸۰۰۰ از ۱۰۰۰۰ کالری اولیه جهت تبدیل ساختن X به Y بکار رفته است. در واکنش، Y دوباره به X تبدیل می شود و از این طریق ۸۰۰۰ کالری که قبلاً مهار شده بود را برای تبدیل واکنش انرژی خواه ($C \rightarrow D$) امکان پذیر می سازد. از اینرو ΔG^0 کلی واکنش دوم، برابر ۵۰۰۰+ ، ۸۰۰۰- یا به عبارتی ۳۰۰۰- کالری می باشد.

واکنشگر مشترک Y را ترکیب پرانرژی یا ترکیب ناقل انرژی می شناسند. واکنشگرهای متداول پرمصرف در سلول، موادی هستند که قادر به انتقال مقدار زیادی از انرژی آزاد بوده و آنها را ترکیب های ناقل انرژی زیاد می نامند. انواعی از این نوع ترکیبها در سلول وجود دارد و اگرچه ممکن است انرژی کلی بیش از سایر ترکیبها نداشته باشد ولی انرژی درون مولکول

آنها به طریقی انتشار یافته که یک بخش، مقابل بخش دیگر قرار گرفته است، در نتیجه فشار و کشش مولکولی زیاد حاصل می شود.

شکستن مولکول (با عمل آنزیم) موجب رها شدن انرژی می شود که دیگر مهار نشده است. مولکول ناقل انرژی شبیه تله موش است. هنگامی که تله گذاری می شود، فنر دارای انرژی زیادی است ولی انرژی فنر تله موش با عمل موشگیری رها می شود. عمل گرفتن موش مشابه عمل کاتالیزوری شکستن مولکول ناقل است و به دنبال آن انرژی فنر آزاد می گردد. جدول ۱-۶ ، اسامی برخی از ترکیب های ناقل انرژی را که در سلول وجود دارد نشان می دهد. از میان آنها ATP مهمترین محسوب می شود.

ATP واسطه انرژی، در مبادلات انرژی بین واکنشهای انرژی زا و انرژی خواه است. باید به خاطر داشت که همه ترکیبهای جدول ۱ ـ ۶ می توانند انرژی خود را به طور مستقیم یا غیرمستقیم جهت سنتز ATP انتقال دهند . به عنوان مثال :



نوع ترکیب	$\Delta G^0 Kcal\ mol^{-1}$
آدنوزین تری فسفات	-۷/۳
گرانوزین تری فسفات	-۷/۳
یوریدین تری فسفات	-۷/۳
سیتدین فسفات	-۷/۳
استیل فسفات	-۱۰/۱
۱،۳ دی فسفو گلیسریک اسید	-۱۱/۸
فسفوانول پیروویک اسید	-۱۴/۸

جدول ۱-۶، برخی از ترکیب های انتقال دهنده انرژی در سلول و تغییرات انرژی آزاد استاندارد در اثر هیدرولیز.

نور و تشکیل ATP

انرژی از منبعی برای تشکیل پیوندهای فسفوانیدریدی ATP تغییر و تبدیل یافته و آنگاه جهت انجام بیوسنتز، صرف احیا پیریدین نوکلئوتید، نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید (NAD) و نیکوتین آدنین دی نوکلئوتید فسفات می شود. تقریباً همه واکنشهای اصلی مولد انرژی از واکنشهای اکسیداسیون ـ احیا حاصل می شود که انرژی منبع شیمیایی را رها ساخته یا برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی شیمیایی بکار می رود. دلایلی وجود دارد که، سیستم تبدیل نور به انرژی شیمیایی در گذشته دور در مسیر تکامل سیستم های بیولوژیکی مولد انرژی وجود داشته است. به طوریکه امروزه در طبیعت دیده می شود، سیستم های انرژی فتوشیمی با جذب کوانتوم نور متوسط ساختارهای درون سلولی واجد کلروفیل آغاز می گردد. در گیاهان سبز، کلروفیل در سیستم غشایی پیچیده اندامکهای سلولی بنام کلروپلاست جای گرفته است. گر چه جزئیات فعال شدن کلروفیل با جذب نور پیچیده است ولی نتیجه آن به صورت رها شدن

الکترون از مولکول کلروفیل حاصل می شود. الکترون رها شده از طریق یکسری ناقلین الکترون سلولی انتقال پیدا کرده و سرانجام الکترون از دست داده به کلروفیل باز می گردد. در حقیقت کلروفیل فعال شده، یک عامل احیا کننده قوی محسوب می شود و پتانسیل اکسید ـ احیای (O-R) پایینی دارد.

بدین نحو، انرژی نور به شکل انرژی شیمیایی بالقوه تبدیل می یابد. یعنی کلروفیل فعال شده قادر است پذیرنده های الکترونی اکسید شده را در غشاء احیا کند. ناقلین الکترون یک سری ترکیبهایی با پتانسیل O-R زیاد می باشند. به طوریکه یکی بعد از احیا شدن می تواند ترکیب دیگری با پتانسیل O-R بالاتر را احیا کند.

این ناقلین شامل پروتئین فرودوکسین(احتمالاً نخستین ناقل احیا شونده توسط کلروفیل فعال شده)، فلاوپروتئینها، کینون ها و سیتوکرومها است. هنگامی که انرژی شیمیایی به شکل کلروفیل فعال شده در دسترس قرار گیرد همه واکنشهای O-R بعدی خود به خود پیش می‌رود، اگر چه اکثر آنها به آنزیم های کاتالیزور نیاز دارد، فعال شدن مولکول کلروفیل به وسیله نور منبعی با پتانسیل پایین انرژی فراهم می سازد. حرکت مرحله به مرحله الکترونها از کلروفیل فعال شده از طریق زنجیره الکترونی با پتانسیل O-R فزاینده خود بخود پیش رفته و انرژی رها می سازد.آنزیم هدایت کننده انتقال الکترونی هر واکنش فقط سرعت واکنش را افزایش داده و تأثیری در تعادل نهایی و یا تغییر انرژی آزاد ندارد.

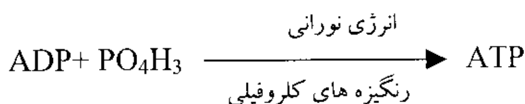
به طور کلی فتوسنتز از طریق واکنشهای زیر صورت می پذیرد :

الف) واکنش های نوری فتوسنتز : ابتدا این واکنشها انجام می شود و با مرحله آغازین جذب انرژی از روشنایی خورشیدی مطابقت دارد.

ب) واکنشهای تاریکی فتوسنتز : برای انجام این واکنشها نور هیچگونه دخالتی ندارد. این واکنشها عمدتاً با جذب CO_2 و وارد ساختن کربن در فراورده های فتوسنتزی مطابقت دارد.

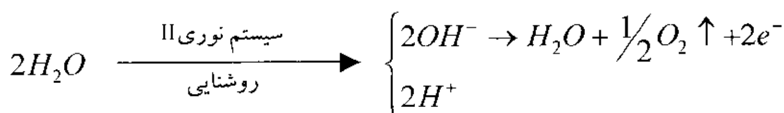
الف ـ فتوفسفریلاسیون

تبدیل انرژی نورانی به شکلی از انرژی که بتواند بلافاصله در متابولیسم سلولی قابل استفاده باشد، از مهمترین هدفهای فتوسنتز می باشد. آرنون نشان داد که کلروپلاستهای جداشده در روشنایی با فسفریله کردن مولکول ADP درون سلولی به وسیله اسید فسفریک آزاد محیط، مولکولهای ATP می سازند و این واکنشهای فسفریلاسیونی، انرژی خواه بوده و انرژی آزاد لازم جهت این سنتزها به وسیله اشعه جذب شده تأمین می شود :



۱ ـ فتوفسفریلاسیون خطی[1]

تابش نور روی سیستم نوری II (طول موجهای کوتاهتر از $\lambda = ۶۸۰$ nm) رنگیزه های گیرنده نور را یونیزه کرده و به یونهای Chl^+ (کلروفیل) حریص به الکترونها تبدیل می کند. این گیرنده های قوی الکترونی، برای جداسازی الکترونها با آب وارد واکنش می شوند، که فرآیند اکسیداسیون نوری آب(فتولیز آب) می باشد و طبق معادله زیر انجام می شود.



$$2H_2O \xrightarrow[\text{روشنایی}]{\text{سیستم نوری II}} \begin{cases} 2OH^- \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2 \uparrow + 2e^- \\ 2H^+ \end{cases}$$

بعد از تجزیه نوری آب، سیستم نوری II با دریافت الکترونهای آزاد شده احیا می شود.

---

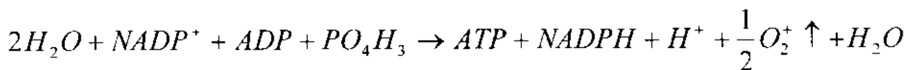
1 - Linear Phosphorylation

الکترون پس از طی یک سری پتانسیل های اکسیداسیون ـ احیا، از ماده اکسید شونده به ماده احیا شونده منتقل می شود. تمام این واکنشها به وسیله اولین واکنش نوری فعال کننده سیستم نوری II انجام می‌شوند. حال باید یک واکنش نوری ثانوی فعال کننده سیستم نوری I به واکنش قبل مربوط شود. اشعه نوری می تواند سیستم نوری I را با دفع یک الکترون از کلروفیل یونیزه کند. بلافاصله سیستم نوری I در ارتباط با زنجیر سیتوکرومها به صورت گیرنده نهایی الکترون در می‌آید. الکترون دفع شده بوسیلهٔ یونیزاسیون توسط فره دوکسین (پروتئین دارای آهن یونیزه بصورت غیر همی) با پتانسیل بسیار کم گرفته می شود.

$$E_o^{'}(PH=7)=-0.432V$$

این منفی ترین پتانسیل در میان سیستم های اکسید ـ احیا کننده سلولی است.

در پایان فره دوکسین احیا شده، الکترونهای خود را بواسطهٔ فلاوپروتئین ها به گیرنده نهایی یعنی $NADP^{+}$ منتقل می کند. معادلهٔ کلی و خلاصه شده این انتقال های الکترونی به صورت زیر است :



$$2H_2O + NADP^{+} + ADP + PO_4H_3 \rightarrow ATP + NADPH + H^{+} + \frac{1}{2}O_2^{+} \uparrow + H_2O$$

در این معادله که به فتوفسفریلاسیون خطی مربوط می شود، حداقل دو واکنش فتوشیمیایی را بطور همزمان فعال می سازد. در جریان این واکنش ها الکترونها از سیستم نوری II بدون طی مسیر حلقوی وارد سیستم نوری I و سپس وارد $NADP^{+}$ می گردند.

۲ ـ فتوفسفریلاسیون حلقوی

فتوفسفریلاسیون حلقوی تنها سیستم نوری I را فعال می کند. الکترونهای دفع شده از کلروفیل‌ها در اثر جذب انرژی نورانی به فره‌دوکسین منتقل شده و به کمک فلاوپروتئین ها و

زنجیره ای از سیتوکروم ها به کلروفیل بازگشت می کنند. بنابراین الکترونها مسیر بسته‌ای را طی می کنند که در جریان آن، انرژی به مقدار کافی در محیط آزاد می گردد تا فسفریلاسیونهای کوپله ADP انجام شود.

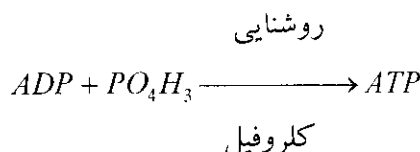
بطور کلی :

۱ ـ در انجام این واکنش تنها یک واکنش نوری مداخله می کند.

۲ ـ اکسیژن دفع نمی شود.

۳ـ $NADPH$ تولید نمی شود.

و معادلهٔ کلی آن بدین قرار است.

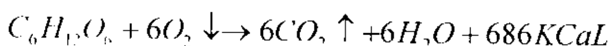


$$ADP + PO_4H_3 \xrightarrow[\text{کلروفیل}]{\text{روشنایی}} ATP$$

ب ـ واکنشهای تاریکی ـ واکنش های غیر نوری همزمان با استفاده از کوفاکتورهای حاصل از واکنش‌های مرحله نوری مجدداً ADP و $NADP^+$ مورد نیاز واکنشهای نوری را تولید می کنند و شامل واکنشهایی است که در چرخه کلوین وچرخهٔ اسیدهای دی کربوکسیلیک انجام می شود.

تنفس یک گیاه پدیدهٔ فیزیولوژیکی ای است که باز پس گرفتن بخش عمده ای از انرژی پتانسیل شیمیایی ذخیره شده در متابولیت های آلی موجود در گیاه را بوسیله یک رشته اکسیداسیون متابولیسمی امکان پذیر می سازد.

یعنی گیاهان عالی با استفاده از فرآورده‌های فتوسنتزی تنفس می کنند. از آنجا که ترکیب دوبارهٔ قند و اکسیژن باعث آزاد سازی انرژی ذخیره شده می گردد، همزمان با این فرآیند طی یک سری واکنشهای متوالی و متوازن اکسیداسیون و احیا (شبیه عملی که در میتوکندری ها اتفاق می افتد) انرژی به یک شیوه گام به گام آزاد می شود و به صورتی تبدیل می شود که آن را قادر می سازد در زمانهای ضروری و مکانهای لازم کار انجام دهد. معادلهٔ کلی تنفس به قرار زیر است :



$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \downarrow \rightarrow 6CO_2 \uparrow + 6H_2O + 686KCaL$$

انرژی حاصل از هیدرولیز ATP

انرژی با هیدرولیز از ATP جدا شده و مقدار انرژی رها شده مقیاسی از توانایی انتقال نرژی ATP محسوب می شود. عملکرد انرژی حاصل از ATP به خاطر پیوندهای پر انرژی فسفات نمی باشد، بلکه به انرژی آزاد شده از بارهای منفی قوی حاصل از واکنش هیدرولیز که در شرایط تعادلی استاندارد، حدود $7\ ^{KCaL}\!/_{mol}$ است، وابسته است.



$$ATP^{4-} + H_2O \rightarrow ADP^{3-} + HPO_4^{2-} + H^+$$

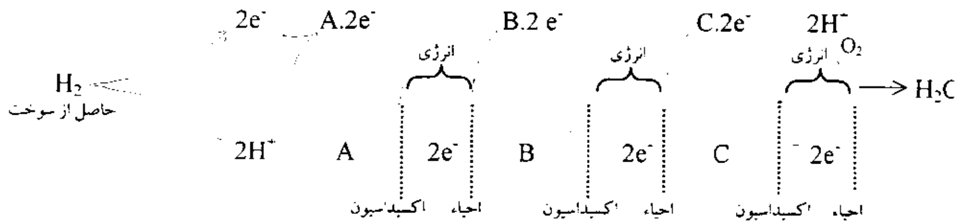
موازنهٔ واکنش، غیر واقعی است. زیرا محصولات واکنش به دلیل بارهای منفی و تشکیل وربیتالهای مولکولی هیبرید جدید تثبیت شده اند. ATP تنها ترکیب فسفاتی، که سیستم های زیستی دارای آن باشند نیست. در حقیقت تعداد زیادی ترکیبات فسفاتی وجود دارند که دارای میزان بالایی انرژی آزاد حاصل از هیدولیز هستند.

انتقال الکترون و فسفریلاسیون - اکسیداتیو

انتقال الکترون و فسفریلاسیون اکسیداتیو، آخرین مرحلهٔ اکسیداسیون بیولوژیک است.الکترونهای ایجاد شده در ترکیبات واسط واکنشهای اکسیداسیون، داخل زنجیرهٔ انتقال الکترون می گردند. در این زنجیره آنزیم هایی وجود دارند که حامل الکترون بوده و این الکترونها در واکنشهای پی در پی که هر یک انرژی کمتری از دیگری دارند به اکسیژن مولکولی که آخرین گیرنده الکترون است منتقل می گردند. در این عمل قسمت عمده انرژی الکترون با مکانیسم فسفریلاسیون اکسیداتیو در پیوند پرانرژی مولکول ATP ذخیره می گردد. آنزیم های مخصوص این دوره در حیوانات و گیاهان عالی در داخل میتوکندری ها قرار دارد.

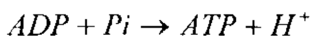
ناقلین الکترونی سلولی، همان ناقلین سیستم فتوکروفیک بوده و شامل فلاوپرتئین ها، کینون ها و سیتوکروم ها می باشند. در یوکاریوتها، اندامکهای درون سلولی یعنی میتوکندری‌ها دارای سیستم غشایی مولد انرژی می باشند و در پروکاریوتها سیستم های انتقال الکترونی در غشاء سیتوپلاسمی قرار دارد. تشکیل ATP از این واکنشهای انتقال الکترونی شیمیوتروفیک را فسفریلاسیون اکسیداتیو می نامند. در حین انتقال الکترون، الکترونهای مربوط به اتم های هیدروژن مواد سوختی با عبور از میان یک سلسله ناقل الکترون که با C ، B و A مشخص شده اند می گذرند. این ناقل ها بطور چرخه ای عمل می کنند و متناوباً اکسیده و احیا می شوند. $C.۲e^-$ پایدارتر از $B.۲e^-$ است که خود از $A.۲e^-$ پایداری بیشتری دارد. پایدارترین ترکیب در آخرین مرحله پدید می آید که در آن هیدروژن با اکسیژن ترکیب می شود و آب

می سازد. در هر مرحله از انتقال الکترون، مقداری انرژی آزاد می شود و بیشتر این انرژی از طریق فسفریلاسیون اکسیداتیو تبدیل به پیوندهای فسفات پر انرژی در ATP می شود.



مکانیسم انرژی

سیستمهای انتقال الکترونی که مقدار زیادی انرژی تولید می نمایند در غشاء سلول متصل هستند. آنزیمها و ناقلین الکترونی این سیستمها، در نقطهٔ ویژه ای از غشاء ثابت گشته و آرایش فضایی خاصی نسبت به یکدیگر و سطوح درون و بیرون غشاء دارا هستند. الکترونها وپروتونها از مواد اولیه درونی نظیر NADH گرفته شده اند و الکترونها در غشاء به پذیرنده نهایی الکترون مثلاً اکسیژن انتقال پیدا می کنند. پروتونها به بیرون از غشاء رها گشته و یونهای هیدروکسیل خالص در درون متراکم می شوند. غشاء نسبت به پروتونها و یونهای هیدروکسیل ناتراوا است.نیروی الکتریکی به نام نیروی محرکهٔ پروتونی به وجود می آید که از پتانسیل غشاء و شیب PH تشکیل شده است.ATP به وسیله آنزیم متصل به غشاء سنتز می شود که واکنش زیر را هدایت می کند.



$$ADP + Pi \rightarrow ATP + H^+ \qquad \text{(بیرونی)}\ oH^- + \text{(درونی)}$$

با این سنتز، پیوند پر انرژی نهایی ATP امکان پذیر است. زیرا آنزیم در غشاء، طوری قرار گرفته که ورود فرآوردهٔ پروتونی را به درون سلول میسر می سازد و آنگاه پروتون وارد شده با OH^- درونی خنثی می شود. همزمان فرآودهٔ OH^- به بیرون رها گشته و در آنجا بوسیله H^+ بیرونی خنثی می شود.

بنابراین جدایی H^+ و OH^- ناشی از انتقال الکترونی با گرفتن فرآورده هایی که در غیر این صورت موجب برگشت واکنش می شوند، برای کشیدن این واکنش به طرف سنتز ATP به کار گرفته می شود. نیروی محرکهٔ الکترونی، همچنین می تواند برای تولید زیاد، کمپلکسهای پروتون دار، بین ناقلین خاص غشایی و مواد محلول ایجاد نمایند و آنگاه این کمپلکسها به درون غشاء منتقل گشته و در آنجا پروتون خنثی شده و مواد محلول رها می گردد. پروتونهای بیرونی، همچنین می تواند صرف انرژی دار کردن پروتئین های دستگاه حرکتی گردد.

نیروی محرکهٔ پروتونی می تواند صرف هموار کردن انتقال الکترونها با تشکیل ATP شود که به نوبه خود می تواند جهت راندن انتقال فعال وحرکت به کار گرفته شود. تولید ATP به وسیله نیروی محرکه پروتونی در نتیجه انتقال فعال الکترونی وابسته به نور در باکتری های فتوسنتتیک و در سیستمهای انتقال الکترونی غشایی در شیمیوتروفها دیده می شود.



پرتوها

ساختار هسته

هسته از ذرات بنیادی بسیاری تشکیل شده است که تا کنون ۳۰ نوع آن شناخته شده است. مهمترین و قدیمی ترین ذرات شناخته شده پروتونها و نوترونها می‌باشند. این ذرات به وسیله نیروهای هسته ای به هم وابسته اند. پروتون یک ذره بنیادی با بار مثبت و نوترون یک ذره بنیادی بدون بار است و جرم آن اندکی از جرم پروتون بیشتر می‌باشد.

به اتمهایی که ساختار هسته ای متفاوت دارند نوکلید گفته می‌شود. هر نوکلید را با نوشتن عدد جرمی (A) [۱]در سمت چپ و بالای نماد شیمیایی مشخص می‌کنند. برای مثال نوکلیدی که ۶ پروتون و ۶ نوترون دارد به صورت ^{12}C نوکلیدی که ۶ پروتون و ۸ نوترون دارد را به صورت ^{14}C نشان می‌دهند. این علامت گذاری موقعی یک نوکلید را به طور کامل معرفی می‌کند که اعداد اتمی و نماد شیمیایی عناصر معلوم باشند. به هر حال برای رفع هر گونه اشتباه، گاهی عدد اتمی (Z)[۲] را نیز در سمت چپ و پایین نماد شیمیایی می‌نویسند. مانند: $^{12}_{6}C$ ، $^{14}_{6}C$ ، $^{14}_{7}C$.

نوکلئونهای هر هسته به وسیله یک نیروی اصلی که با نیروهای الکتریکی و گرانشی تفاوت دارد به یکدیگر وابسته اند. در فواصل کم، نیروی هسته‌ای بسیار قوی تر از نیروی الکتریکی است. ولی با افزایش فاصله دو نوکلئون، این نیرو سریعاً کاهش می‌یابد. برای بهتر نشان دادن نیروی هسته‌ای می‌توان انرژی پتانسیل هسته ای (U_n) میان دو نوکلئون را بر حسب فاصله جدایی(r) آنها رسم کرد. شکل ۱- ۷ پتانسیلهای پروتون–نوترون $(n-p)$ و نوترون–نوترون $(n-n)$ را نشان می‌دهد. هر دو پتانسیل با افزایش r سریعاً به صفر میل می کند و مقدار آنها در نزدیکی $r=۱\times۱۰^{-۵}m$ به حداقل می رسد. منفی بودن انرژی پتانسیل نشان می دهد که نیروی میان نوکلئونها نیروی جاذبه است. زیرا برای جدا کردن آنها از یکدیگر باید کار مثبت انجام شود. نیروی جاذبه n – p بسیار بیشتر از نیروی n–n است، زیرا پتانسیل آن منفی تر است.

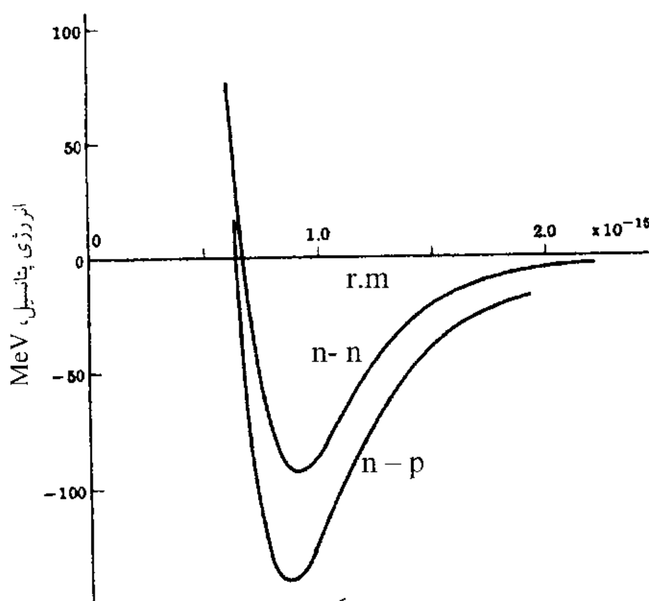
---

۱ - عدد جرمی (A) هر هسته با مجموع تعداد پروتونها و نوترونها مساوی است . A= Z+N

- عدد جرمی معرف تعداد نوکلئونها (نوترون و پروتون) در هسته است .

۲ – عدد اتمی (Z) هر عنصر با تعداد پروتونها ی هسته آن مساوی است . برای مثال هسته کربن (Z=6) شامل ۶ پروتون و هسته اورانیوم (Z=92) شامل ۹۲ پروتون است .

افزایش سریع انرژی پتانسیل در فاصله کمتر از $r = ۱ \times ۱۰^{-۱۵}\ m$ نشان دهنده وجود نیروی دافعه قوی در فواصل کم است. نوکلئونها طوری رفتار می‌کنند که گویی هسته مرکزی سختی دارند که اجازه نمی دهد آنها کمتر از $۰/۵ \times ۱۰^{-۱۵} m$ به هم نزدیک شوند.



شکل ۱-۷

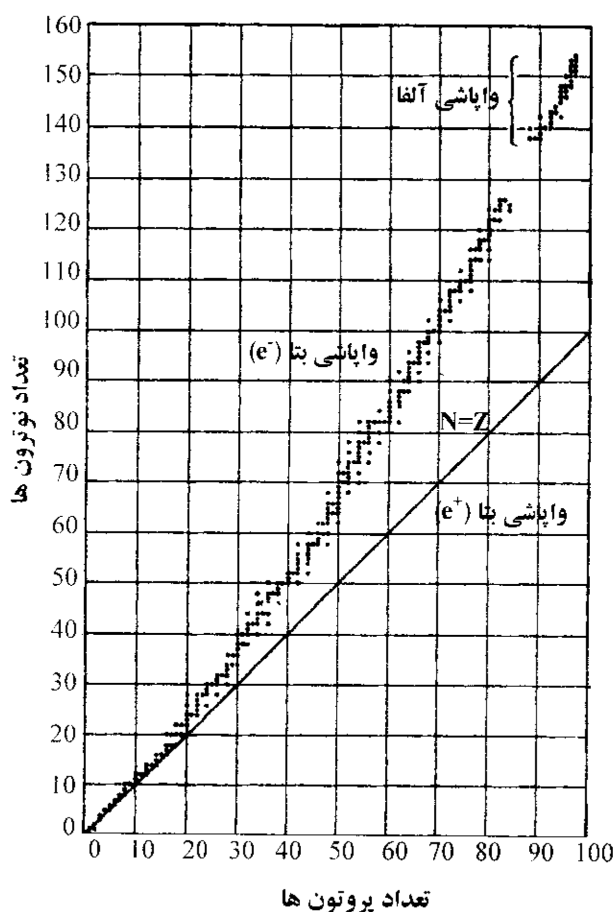
دو عامل حاکم بر نسبت نوترونها به پروتونهای هسته عبارتند از :

۱ ـ نیروی n – p که قسمت اعظم آن جاذبه است و موجب می شود که تعداد نوترونها و پروتونها مساوی باشند.

۲ ـ نیروی جاذبه الکتریکی میان پروتونها، که با افزایش تعداد پروتونها زیاد می شود و موجب می گردد که تعداد نوترونها نسبت به پروتونها افزایش یابد.

در نوکلئوتیدهای سبک ($A \leq ۴۰$) عامل اول غالبتر است، اما در نوکلئوتیدهای پایدار که تعداد پروتونها و نوترونها تقریباً مساوی است عامل دوم غالبتر می باشد و نوترون بیش از

پروتون است (شکل ۲ ـ ۷) خط Z = N برای مقایسه رسم شده است چون هیچ نوکلید پایداری به ازای Z > ۸۴ وجود ندارد. نقاط مربوط به Z ≥ ۸۵ معرف نوکلیدهای پرتوزای با نیمه عمر زیاد هستند.



شکل ۲-۷ منحنی تعداد نوترون ها،N، بر حسب تعداد پروتون ها،Z، در نوکلیدهای پایدار. نقاط مربوط به Z ≥85 معرف نوکلیدهای با نیم عمر زیاد هستند. خط N=Z برای مقایسه رسم شده است.

انگیزش و یونش

اگر انرژی از یک منبع بیرونی مانند موج الکترومغناطیسی و یا بمباران ذره ای به الکترون در اتم داده شود الکترون ممکن است به تراز انرژی بالاتر رود ولی از اتم خارج نشود. در این حال اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است در این حال می گویند که اتم به حالت برانگیخته درآمده است.

اگر الکترون انرژی بیشتری از انرژی پتانسیل خود دریافت کند اتم را رها می کند که این روند یونش نام دارد. در این حال الکترون آزاد و اتم مثبت باقی مانده است. الکترون آزاد دارای انرژی جنبشی (KE_e) خواهد بود که از برابری $KE_e = E_i - u$ به دست می آید. E_i انرژی داده شده به الکترون و U انرژی پتانسیل لازم برای رهایی الکترون از اتم است. پس از روندهای انگیزش و یونش، اتم سرانجام به حالت پایدار خود برمی گردد و الکترون از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین تر برای پرکردن جایگاه خالی الکترون از دست رفته برمی گردد که در نتیجه یک فوتون تابش می یابد که انرژی فوتون برابر تفاوت انرژی تراز آغاز و تراز پایین خواهد بود. اگر فوتون تابشی دارای انرژی بالاتر از ۱kev باشد به آن پرتو رونتگن یا پرتو x گفته می شود.

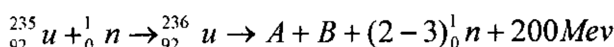
واکنشهای هسته ای

تابشهای هسته ای مجموعاً به ذرات پرانرژی (آلفا، بتا، فوتونها و نوترونها) و تابشهای الکترومغناطیسی (پرتوهای گاما و پرتوهای X) که با واپاشی هسته ای و واکنشهای هسته ای همراهند اطلاق می شود. تمام این تابشها در مسیر خود در ماده نفوذ می کنند و موجب برانگیختگی یا کنده شدن الکترونها می شوند. از این رو اثرات زیان آوری روی سلولهای زنده دارند و برای کسانی که با مواد پرتوزا کار می کنند یا در نزدیکی راکتورهای هسته ای ساکنند خطرات حیاتی دارند. ضمناً قدرت تابشهای هسته ای در تخریب اعمال سلولی، باعث می شود که از آنها در درمان سرطان و بیماریهای مربوط به طور مؤثر استفاده شود.

شکافت یا تلاشی هسته

در این روند هسته به طور خود بخودی شکافته و به دو قسمت تقریباً هم اندازه تقسیم می شوند. این روند در هسته های بسیار سنگین و در جایی که نیروهای متقابل دور کننده پروتونها اندکی بیشتر از نیروهای همبستگی لازم برای نزدیک کردن پروتونهاست، انجام می گیرد. از این رو افزودن مقدار کمی انرژی قادر است سبب تلاشی هسته به دو قسمت کوچکتر گردد.

چون دو محصول برای هر روند تلاشی وجود دارد راندمان تولید تلاشی به جای ۱۰۰٪، ۲۰۰٪ خواهد بود. واکنش زیر نمونه ای از واکنشهای تلاشی هسته می باشند.



$$^{235}_{92}u + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}u \rightarrow A + B + (2-3)^{1}_{0}n + 200Mev$$

در این واکنشها علاوه بر محصولاتی مانند A و B، بین دو تا سه نوترون در هر شکافت هسته حاصل می شود. چون این واکنش با کاهش جرم همراه است مقدار زیادی انرژی از این راه آزاد می گردد. مثلاً در مورد $^{236}_{92}u$ به ازای هر شکافت Mev ۲۰۰ انرژی آزاد می شود. نوترونهای حاصل در این واکنش نوترونهای پرسرعت هستند. این نوترونها برای اینکه دوباره در واکنش وارد شده هسته های u^{235} را به u^{236} تبدیل کنند باید به نوترون کند یا گرمائی تبدیل شوند. این کار در راکتورهای هسته ای به وسیله آب، گرافیت یا آب سنگین ($^{2}_{1}H2O$) انجام می گیرد که به آنها ملایم کننده می گویند.

ذره آلفا

ذره آلفا هسته های اتمهای هلیومی هستند که الکترون ندارند از این رو دارای عدد جرمی ۴ و بار ۲ + می باشند. چون ذره آلفا دو واحد بار مثبت دارد دارای قدرت برخورد بالایی است و می تواند با ذرات دارای بار منفی و ذرات با بار مثبت برخورد داشته باشد. ذره آلفا انرژی خود را در وهله اول با یونیزاسیون و انگیخته کردن اتمهایی که در مسیرش با آنها برخورد می نماید از دست می دهد. در هر برخورد که ذره آلفا انجام می دهد یک جفت یون تولید می کند که از انرژی و سرعتش کاسته می شود. این روند باعث می شود که ذره مرتباً زمان بیشتر و بیشتری را برای برخورد با هسته های اطراف و الکترونها داشته باشد از این طریق احتمال تولید بیشتر یونها در روند یونیزاسیون افزایش می یابد.

ذره آلفا خیلی سنگینتر از الکترونها است و از این رو در داخل ماده به طور مستقیم حرکت می کند و در مسیر خود الکترونها را کنار می زند. در هر برخورد آلفا ـ الکترون، آلفا در اثربرخورد با یک الکترون خارج از اتم در حدود ۳۳ الکترون ولت انرژی از دست می دهد. بنابراین ذره آلفایی که ۵ مگا الکترون ولت انرژی دارد قبل از متوقف شدن، تعداد $\frac{5\ Mev}{33\times10^6\ Mev}=151000$ برخورد انجام می دهد. چون هر برخورد باعث یونیده شدن یک اتم یا شکستن یک مولکول می شود، پس هر ذره آلفا قبل از توقف، آسیب قابل ملاحظه ای به وجود می آورد.

مسافتی را که یک ذره قبل از توقف طی می کند، برد می نامند. در هر ماده برد تمام ذرات آلفایی که انرژی مساوی دارند یکسان است. این برد با انرژی آلفاها افزایش و با چگالی ماده

کاهش می یابد. در جدول ۱ ـ ۷ برد ذرات آلفا با انرژیهای مختلف را در هوا، بافت بدن و آلومینیوم درج شده است. همچنین این جدول نشان می دهد که برد آلفاها بسیار کم است. مثلاً یک آلفای ۵ مگا الکترون ولتی، نفوذش در داخل بافت فقط ۰/۲۱ میلی متر می باشد و توسط یک ورقه نازک آلومینیوم به طور کامل متوقف می شود. بنابراین محافظت از آلفاها بسیار راحت می باشد و حتی نمی توانند از پوست بدون حفاظ عبور کنند. اما اگر بلعیده شود در قسمتهای خاصی از بدن جمع می شود و تابش خطرناکی با دز بالا تولید می‌کند.

انرژی Mev	برد ، cm		
	هوا	بافت بدن	آلومینیوم
ذرات آلفا:			
۱/۰	۰/۵۵	$۰/۳۳ \times ۱۰^{-۲}$	$۰/۳۲ \times ۱۰^{-۳}$
۲/۰	۱/۰٤	$۰/٦۳ \times ۱۰^{-۲}$	$۰/٦۱ \times ۱۰^{-۳}$
۳/۰	۱/٦۷	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۲}$	$۰/۹۸ \times ۱۰^{-۳}$
٤/۰	۲/۵۸	$۱/۵۵ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۵۰ \times ۱۰^{-۳}$
۵/۰	۳/۵۰	$۲/۱۰ \times ۱۰^{-۲}$	$۲/۰٦ \times ۱۰^{-۳}$
ذرات بتا :			
۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۰۰۰۲۷	
۰/۱۰	۱۲/۰	۰/۰۱۵۱	۰/۰۰٤۳
۰/۵۰	۱۵۰	۰/۱۸	۰/۰۵۹
۱/۰	٤۲۰	۰/۵۰	۰/۱۵
۲/۰	۸٤۰	۱/۰۰	۰/۳٤
۳/۰	۱۲٦۰	۱/۵۰	۰/۵٦

جدول ۱–۷ برد ذرات آلفا و بتا با انرژی های مختلف در هوا ، بافت و آلومینیوم

ذره بتا

تابش بتا در هسته های ناپایداری انجام می گیرد که نسبت $\frac{N}{Z}$ بالایی داشته باشند (پروتون کم و نوترون زیاد). به سبب جرم کوچک و بار منفی ذره های بتا این ذرات به آسانی توسط نیروی کششی قوی هسته ای تحت تأثیر قرار می گیرند. اگر برخورد بتا با ماده تنها راستای حرکت بتا را تغییر دهد وفقط انرژی جنبشی مبادله شود برخورد را الاستیک یا کشسان می نامند و اگر برخورد با مانع باعث از دست رفتن انرژی جنبشی گردد برخورد را غیرالاستیک یا ناکشسان می گویند. این برخورد در میدان هسته صورت می گیرد. مقدار از دست دادن انرژی در این برخورد می تواند از صفر تا تمامی انرژی ذره باشد و تمام انرژی وقتی از بین می رود که ذره بتا به داخل هسته کشیده می شود.

ذره معمولاً با تغییر راستای حرکت از سرعتش کم می شود و این کاهش سرعت با از دست رفتن انرژی همراه است.

ذره های بتا می توانند با الکترونهای مداری برخورد کنند. در این حال نیروی برخورد از نوع رانشی است. اگر نیرو به اندازه کافی قوی باشد که ذره بتا بتواند باعث شود که الکترون مداری، اتم را ترک کرده و جفت یون تولید شود. هنگامی که این کار به شکل یونیزاسیون در مدارهای الکترونی K، L و یا M باشد، پرشدن جایگاههای خالی الکترونهای خارج شده از اتم به وسیله الکترونهای سطوح بالاتر، باعث ایجاد پرتو اختصاصی یا انرژی می شود که از رابطه زیر به دست می آید:

$$ER = E_1 - E_2 \qquad ۷-۱$$

در اینجا E_1 و E_2 به ترتیب انرژیهای مربوط به سطوح آغازی و پایانی الکترونهایی است که جایگاههای خالی را پر می کنند. در برخورد پرتو بتا با الکترون مداری پرتو بتا دارای انرژی باقی مانده خواهد بود یعنی:

$$E_F = E_i - (\varphi + KE_e) \qquad ۷-۲$$

در اینجا E_i انرژی ابتدایی ذره β و α انرژی بستگی الکترون به مدار و K_{Ee} انرژی جنبشی است که الکترونی که از اتم به خارج پرتاب می گردد، دریافت می کند. به سبب جرم بسیار کوچک ذره بتا و انواع برخوردها مسیر یونیزاسیون پرتو بتا در مقایسه با ذره α بسیار پیچیده است. از سوی دیگر به علت جرم بسیار کوچک و بار کم، یونیزاسیون ویژه ذره بتا کمتر از ذره αاست.

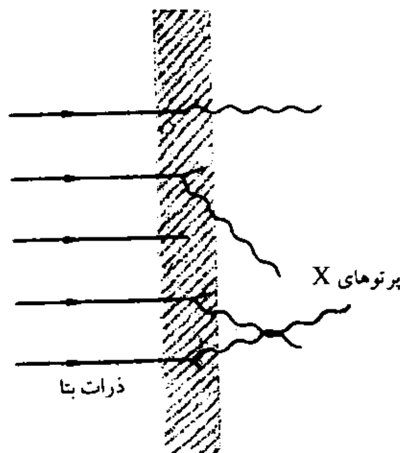
ذرات بتا به صورت منفی (الکترون) و مثبت (پوزیترون) مشاهده می شود.

ذرات بتای منفی، الکترونهای سریعی هستند که در اثر برخورد با الکترونهای اتم آنها را بیش از آلفا منحرف می کند. به هر حال بتاها مانند آلفاها موقع عبور از یک ماده بر اثر یونیده کردن اتمها انرژی از دست می دهند و مسافت معینی را قبل از توقف می پیمایند. با توجه به جدول ۱ ـ ۷ برد با انرژی افزایش می یابد و یک ذره بتای ۳Mev در یک بافت مسافتی حدود ۱۵۰ برابر مسافت مربوط به یک ذره آلفای ۳Mev را می پیماید.

ذرات بتا علاوه بر از دست دادن انرژی در برخورد با الکترونها، وقتی که به سرعت متوقف می شوند، تابش الکترومغناطیسی (پرتوهایx) تولید می کنند. این تابش ترمزی (ترمزاشترالونگ) موقعی به صورت پرتوهای x تولید می شود که یک باریکه الکترونی با آندیک لامپ برخورد کند. پرتوهای x بسیار بیشتر از ذرات β در ماده نفوذ می کنند و از این

رو حتی بعد از متوقف شدن کلیه ذرات بتا در یک ماده، پرتوهای x تولید شده به وسیله آنها به حرکت در ماده ادامه می دهد. شکل ۳ ـ ۷ مسیرهای ذرات بتای تابیده به یک صفحه سربی ضخیم را که می تواند آنها را متوقف کند نشان می دهد. اما پرتوهای X تولید شده به وسیله ذرات بتا در داخل سرب، از طرف دیگر صفحه خارج می شوند و می توانند خطر ایجاد کنند. بنابراین برای ساختن یک حفاظ مناسب در برابر ذرات بتا، مانع باید بسیار ضخیم تر از برد ذرات بتا باشد.

با صرف نظر از سرچشمه تولید بتا، تفاوتی میان ذره بتا و الکترون وجود ندارد و از این رو ذره بتا دارای بار 1.6×10^{-19} کولن و جرم ایستای $m_0 = 9.10\times10^{-31}$ کیلوگرم است. چون ذره های بتا با سرعتهای نزدیک به نور حرکت می کنند برای به دست آوردن جرم در حال حرکت آنها باید برابری انیشتن یعنی $m = m_0 / \sqrt{1-\beta^2}$ بکار رود که در آن $\beta = \frac{v}{c}$ و m جرم نسبیتی است.



شکل ۳-۷ پرتوهای بتای تابیده به صفحهٔ سربی ضخیم متوقف می شوند. وقتی که بتاها متوقف می شوند، پرتوهای X تولید می کنند که از صفحه عبور می کنند.

پرتو گاما

پرتوهای گاما مانند پرتوهای x امواج الکترومغناطیسی هستند و در میدانهای الکتریکی و مغناطیسی منحرف نمی‌شوند، زیرا دارای بار الکتریکی نیستند. همهٔ گونه‌های تابش الکترومغناطیسی دارای ویژگی های زیر می‌باشند.

۱ ـ دارای بار الکتریکی نیستند.

۲ ـ دارای جرم نمی‌باشند.

۳ـ با سرعت نور حرکت می کنند.

۴ ـ بسامدو طول موج آنها بستگی به $f\lambda = c$ دارد.

قدرت نفوذ پرتوهای گاما از پرتوهای β بیشتر است و سخت ترین آنها از چندین سانتیمتر سرب می‌تواند عبور کند.

پرتوهای گاما می‌توانند مولکولهای موجود در مسیر خود را یونیده نموده و روی صفحات حساس عکاسی اثر بگذارند.

پرتو رونتگن و پرتوگاما از نظر تولید چشمه تولیدشان با هم فرق دارند (پرتو گاما از هسته و پرتو رونتگن از مدارهای الکترونی اتم سرچشمه می گیرند).

برخورد پرتو گاماو رونتگن با ماده یکسان انجام می‌شود و از این دو واژه فوتون برای نمایش پرتو رونتگن یا گاما به کار برده می‌شود. مسافتی را که یک فوتون قبلاً از انجام بر همکنش در ماده می‌پیماید، نمی‌توان پیشگویی کرد. تنها می‌توان مسافتی را که در آن یک فوتون ۵۰ درصد شانس برهمکنش دارد را تخمین زد، این مسافت را لایه نیم جذب می‌نامند. برای مثال لایه نیم جذب برای یک پرتو گاما ۰/۱ مگا الکترون ولت و در بافت ۴/۰۵ سانتی متر است.

منظور این است که شدت پرتوگاما بعد از پیمودن ۴/۰۵ سانتی متر در داخل بافت نصف می‌شود. بعد از آنکه پرتو۴/۰۵ سانتی متر دیگر را پیمود شدت پرتو باقی مانده دوباره نصف می‌شود. بنابراین شدت پرتو گاما بعد از پیمودن ۸/۱۰ سانتی متر در داخل بافت به $\frac{1}{4}$ مقدار اولیه کاهش می‌یابد. برای کاهش شدت پرتو گاما به یک درصد مقدار اولیه حداقل باید از ۷ لایه نیم جذب یا ۲۸/۳۵ سانتی متر عبور کند. بنابراین پرتوهای گاما و رونتگن بسیار بیشتر از ذرات باردار در مواد نفوذ می‌کنند.

هنگامی که فوتونها از ماده می‌گذرند، ممکن است با الکترونها ، هسته و یا میدان الکتریکی اطراف هسته برخورد کنند. در هر یک از حالات برخورد ممکن است، کشسان یا ناکشسان باشد.

در برخورد کشسان هر اندازه از انرژی که به وسیله فوتون از دست برود به صورت انرژی تابشی هدف در می‌آید. در حالی که در برخورد ناکشسان بخشی از انرژی از دست داده شده به وسیله فوتون ممکن است در روند انگیزش و یا یونش به کار رود.

از برخوردهای کشسان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

- پراکندگی تامسون: در این پراکندگی فوتون تابشی توسط یک الکترون گرفته شده و الکترون در حالت برانگیخته نوسان می‌کند. در همان زمان فوتون با همان انرژی فوتون نخستین ولی در جهات گوناگون تابش می‌کند.
- پراکندگی رالی: در این برخورد فوتون به گروه الکترونهای اتم برخورد می کند و همه آنها را با بسامد خود را به نوسان در می‌آورد.

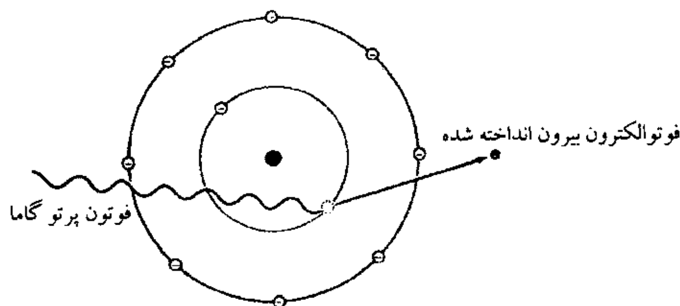
- پراکندگی براگ : در این برخورد فوتون به رویه کریستالی اتمها برخورد می نماید. فوتون برخورد کننده و فوتون پراکنده بنابر رابطه براگ $n\lambda = 2d\sin\theta$ با هم بستگی دارند. n عدد صحیح، λ طول موج فوتون ، d فاصله میان سطوح اتمی درون کریستال و θ زاویه برخورد فوتون است . این پراکندگی برای به دست آوردن طول موج پرتو رونتگن و گاما وهمچنین بررسی ساختمان مولکولهای گوناگون به کار برده می‌شود.

از برخوردهای ناکشسان فوتون با ماده می‌توان از اثر فوتوالکتریک، اثر کامپتون و تولید جفت نام برد.

- اثر فوتو الکتریک : وقتی که فوتون پرتو گاما با یک الکترون بر همکنش می‌کند ممکن است تمام انرژی فوتون به الکترون داده شود که در این صورت الکترون با انرژی جنبشی زیاد از اتم خارج می‌شود. انرژی جنبشی الکترون پرتاب شده برابر است با :

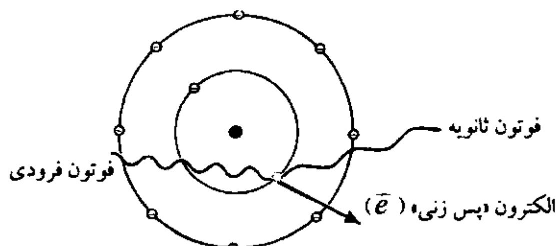
$$KE_e = E_i - \varphi \qquad ۷-۳$$

که E_i انرژی فوتون برخورد کننده و φ پیوند الکترون به اتم است. این اثر بیشتر الکترونهای مدارهای L,K را در بر می‌گیرد و با از بین رفتن فوتون ظاهر می‌شود. به هر حال این اثر در انرژیهای پایین نقش بزرگی را در جذب پرتو دارد.



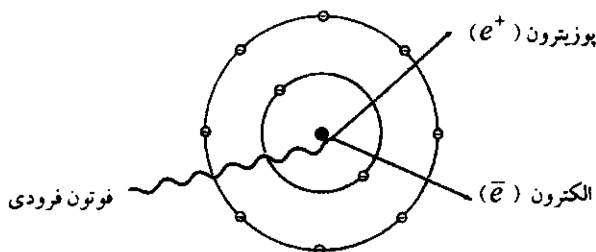
شکل ۴-۷ اثر فوتوالکتریک

- اثر کامپتون: در این اثر بخشی از انرژی فوتون به الکترونی که با آن برخورد می کند، داده می شود. این کار باعث پرتاب الکترون به بیرون از اتم شده ولی یک فوتون با انرژی کمتر در راستایی جدا از راستای فوتون آغازی تولید می‌شود.



شکل ۵-۷ فرایند کامپتون

- تولید جفت: فوتونی که دارای انرژی برابر یا بیش از $1/02Mev$ است، هنگامی که از نزدیکی میدان الکتریکی هسته گذر می کند، ناپدید شده و یک الکترون و یک پوزیترون به وجود می‌آورد.



شکل ۶-۷ تولید جفت

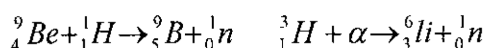
پوزیترونها دارای همان جرم الکترون می باشند با این تفاوت که دارای یک بار مثبت هستند و در بعضی از فرایندهای تجزیه ای رادیواکتیو تولید و معمولاً به صورت جفت ساخته می‌شوند. هنگامی که پوزیترون از هسته به بیرون پرتاب می‌شود دارای انرژی جنبشی است. این انرژی به پوزیترون اجازه می‌دهد با همان روشی که الکترون با ماده برخورد می کند به ماده برخورد

نموده و انرژی خود را از راه یونش و انگیخته نمودن از دست بدهد. پس از بازگشت به حالت اولیه پوزیترون با الکترون ترکیب شده و از بین می‌رود و سرانجام انرژی جرمی به دو فوتون تبدیل می‌شود.

نوترون

نوترونها با انرژی زیاد از عناصر رادیو اکتیو با عدد اتمی بزرگتر از ۸۲ تابش می‌شوند و از اجزای تشکیل دهنده هسته اتم هستند که دارای بار خنثی می‌باشند. نوترونها مانند پرتو گاما، در یک برخورد قسمتی از انرژی خود را از دست می‌دهند هر چند که نوترون‌ها به جای الکترونها با هسته برخورد می‌کنند. نوترون بسیار نفوذ پذیر بوده وبرای حفاظت کارکنان از نوترونهای تولید شده در راکتور، حفاظ سنگینی از سرب و بتون لازم است.

نوترون می‌تواند با بمباران برخی از عناصر به وسیله ذرات یا فوتونهای پر انرژی تولید شود.



$${}_4^9Be + {}_1^1H \rightarrow {}_5^9B + {}_0^1n \qquad {}_1^3H + \alpha \rightarrow {}_3^6li + {}_0^1n$$

در هر یک از این واکنشها یک چشمه رادیواکتیو برای تولید پرتو بمباران کننده لازم است. چشمه‌های پرتو بمباران کننده ای که معمولاً به کار برده می‌شوند شامل $^{226}Ra, ^{210}po, ^{241}Am$ هستند. یک چشمه بسیار مهم تولید نوترون روند خودبخودی شکافت یا تلاشی هسته است. در هر تلاشی یک یا چند نوترون همراه با محصولات ناشی از تلاشی، به دست می آید. نوترونها اساساً بدون بار الکتریکی هستند و با هسته های اتم به آزادی برخورد می‌کنند ، برخوردهای اساسی نوترونها با هسته ها عبارتند از ، برخورد کشسان، ناکشسان و ربایش نوترون.

در یک برخورد کشسان تنها تبادل انرژی جنبشی و اندازه حرکت با هسته بمباران شونده انجام می گیرد، و هیچ انرژی برای تابش از دست نمی‌رود.

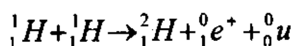
در برخورد ناکشسان بخشی از انرژی نوترون در برخورد با هسته بمباران شونده از دست می‌رود و فوتون تابش می گردد. و هنگامی که یک هسته نوترون را جذب می کند همه انرژی جنبشی نوترون به هسته منتقل می گردد و برانگیختگی پس از زمان کوتاهی انجام می‌شود که نتیجه آن تابش فوتون یا ذره های دیگر است. تابش ذره هنگامی اتفاق می‌افتد که هسته ای که نوترون را جذب کرده، دارای انرژی کافی برای پرتاب یک یا چند ذره باشد .

جوش هسته ای

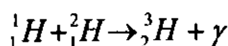
در شکافت هسته ای، توده هسته های حاصل کمتر از هسته اولیه می‌باشد و این تفاوت توده است که به انرژی تبدیل می‌شود. از به هم پیوستن (همجوشی) دو یا چند هسته خیلی سبک نیز، می‌توان هسته ای با توده کمتر از مجموع توده هسته های سازنده به دست آورد و تفاوت توده را به انرژی تبدیل نمود. این فرایند را همجوشی هسته ای می‌نامند.

در این واکنشها از عناصر سبک مانند ایزوتوپهای هیدروژن استفاده می‌شود. و برای گذشتن از سد پتانسیل و امکان پذیر ساختن جوشش یکی از دوعنصر را با سرعت به سوی دیگری پرتاب می‌نمایند، که انرژی آزاد شده در این گونه واکنشها کم و بیش پنج برابر انرژیی است که از شکافت هسته ای اورانیوم تولید می‌شود.

یکی از روشهای ایجاد ذرات پر انرژی برای انجام واکنش همجوشی ، استفاده از شتاب دهنده هاست برای نمونه با شتاب دادن پروتون و ایجاد برخورد مناسب می‌توان واکنشهای زیر را به وجود آورد:

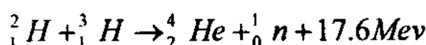


$${}_1^1H+{}_1^1H \rightarrow {}_1^2H+{}_1^0e^+ +{}_0^0u$$

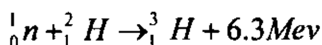


$${}_1^1H+{}_1^2H \rightarrow {}_2^3H+\gamma$$

ولی کارایی شتاب دهنده ها برای این منظور ناچیز است. از این رو برای دادن انرژی بیشتر به ذرات اولیه از انرژی حرارتی جنبشی استفاده می‌شود. انرژی لازم حدود 10^5 الکترون ولت و بنابراین دمای لازم حدود 10^8 درجه کلوین می‌باشد. دمای لازم را برای به وجودآوردن واکنشهای همجوشی ممکن است از انفجار یک بمب شکافتی کمکی به دست آورد. انفجار بمب شکافتی موجب آغاز و ادامه واکنش همجوشی می‌شود. چنین ترکیبی را بمب هیدروژنی می‌نامند، که در آن واکنش همجوشی به صورت زیر است :



$${}_1^2H+{}_1^3H \rightarrow {}_2^4He+{}_0^1n+17.6Mev$$



$${}_0^1n+{}_1^2H \rightarrow {}_1^3H+6.3Mev$$

بنابراین مقدار نسبتاً کمی ترتیوم منجر به تبدیل مقدار زیادی دوتریوم به هلیوم می‌شود و مدام که سوخت وجودداشته باشد واکنش خود به خود ادامه پیدا می‌کند. این گونه واکنش را واکنشهای گرما هسته ای می‌نامند در واکنشهای گرما هسته‌ای برخلاف بمبهای شکافتی، محصولات رادیواکتیو با نیمه عمر زیاد به دست نمی آید.

منبع انرژی بسیاری از ستاره ها به ویژه خورشید، هیدروژن فراوان آنها می‌باشد. که طبق واکنشهای همجوشی به هلیوم تبدیل شده است.

نیم عمر

در یک هسته، گذر از یک حالت برانگیخته به حالت پایه ای با گسیل یک پرتو گاما ، معمولاً به صورت لحظه ای صورت می‌گیرد. با وجود این، یک هسته پرتو زا قبل از واپاشی آلفا یا بتا می‌تواند مدتی طولانی در حالت برانگیخته بماند. بر طبق قوانین مکانیک کوآنتومی، به هیچ وجه معلوم نیست که یک هسته چه موقع واپاشی خواهد کرد. آنچه می‌توان پیشگویی کرد، احتمال واپاشی یک هسته در یک مدت معین است. این مدت را معمولاً به صورت دوره T که یک هسته ۵۰ درصد شانس واپاشی دارد مشخص می‌کنند. این دوره را نیم عمر می‌نامند که یکی از مشخصات هر نوکلید است.

تعداد هسته هایی که در یک مدت زمان معین واپاشی می‌کنند (آهنگ واپاشی R)، با تعداد هسته‌های موجود N متناسب است. در مدت زمانهایی که در مقایسه با نیم عمر کوچکند، آهنگ واپاشی برابر است با :

$$R = \frac{0.693}{T} N \qquad \text{۷-۴}$$

مثلاً اگر نیم عمر یک هسته ۱۰ دقیقه باشد آهنگ واپاشی آن برابر است با :

$$R = \frac{0.693}{10\,\text{min}} N = 0.0693 N\,\text{min}^{-1}$$

اگر ابتدا ۱۰۰۰ هسته در نمونه وجود داشته باشد خواهیم داشت $R = 69/3\,\text{min}^{-1}$.

یعنی در هر دقیقه ۶۹/۳ واپاشی صورت می‌گیرد، اما بعد از ۱۰ دقیقه ، ۵۰۰ هسته در نمونه باقی می‌ماند. لذا پس از ۱۰ دقیقه ، آهنگ واپاشی $34/6\,\text{min}^{-1}$ خواهد بود .

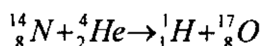
اگر N تعداد هسته های موجود در لحظه t=0 باشد آهنگ واپاشی در هر لحظه بعدی t از معادله زیر به دست می‌آید .

$$\log R = \log \frac{0.693N}{T} - 0.301\frac{t}{T}$$ ۷-۵

دگرگونی

تبدیل هسته ای به هسته دیگر که در پدیده رادیواکتیویته طبیعی روی می‌دهد و با تغییر عدد اتمی و گاهی عدد جرمی همراه است را دگرگون می‌نامند. این نوع دگرگونیها خود به خود انجام می‌گیرند و نمی‌توان از آنها جلوگیری کرد یا با روشهای فیزیکی (فشار، دمای زیاد، تابش نور، میدانهای الکتریکی ومغناطیسی و ..) یا روشهای شیمیایی آنها را تغییر داد. با این وجود دگرگونی را می‌توان به صورت مصنوعی باعث شد و هسته‌ای را با بارانیدن ذرات دیگر که بتوانند از سد پتانسیل هسته عبور کنند به هسته دیگر تبدیل نمود. اگر هسته ای که از این دگرگونی تولید می‌شود تابشکار باشد آن را یک عنصر مصنوعی رادیواکتیو می‌نامند و معمولاً در واکنشهای هسته ای با یک ستاره نشان می‌دهند.

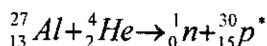
نخستین دگرگونی مصنوعی در سال ۱۹۱۹ به وسیله رادرفورد با، بارانیدن ذرات آلفای حاصل از رادیوم به ازت خالص در فشار یک جو انجام شد . نتیجه این واکنش یک اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن است.



$${}^{14}_{8}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{17}_{8}O$$

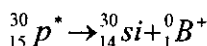
رادیواکتیویته مصنوعی

در برخی از دگرگونیهای مصنوعی مانند واکنش $_{0}^{1}n+_{3}^{6}li\to_{2}^{4}He+_{1}^{3}H^{*}$ عناصر حاصل تابشکار هستند. نخستین عنصر تابشکار مصنوعی در بررسی دگرگونی آلومینیوم تحت بمباران با ذرات آلفا به وسیله ژولیو و کوری ساخته شد.



$$_{13}^{27}Al+_{2}^{4}He\to_{0}^{1}n+_{15}^{30}p^{*}$$

در این واکنش فسفر رادیواکتیو مصنوعی با گسیل یک پوزیترون، β^{+} ، خود به خود به هسته سیلیسیم تبدیل می‌شود.



$$_{15}^{30}p^{*}\to_{14}^{30}si+_{1}^{0}B^{+}$$

پوزیترونها مانند الکترونها هستند ولی بار الکتریکی آنها مثبت و مساوی قدر مطلق بار الکترون است. یک پوزیترون در برخورد با یک الکترون به سرعت نابود می‌شود و طبق معادله هم ارزی توده و انرژی انیشتن دو پرتو گاما تولید می‌شود که در دو سوی مخالف گسیل می‌یابد و مقدار انرژی آزاد شده برابر ۱/۰۲ میلیون الکترون ولت (Mev) است.

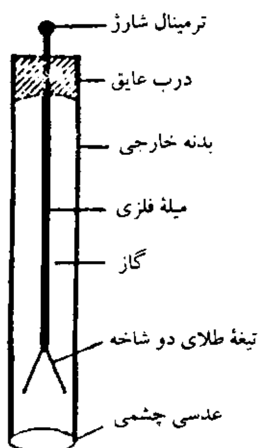
اندازه گیری رادیواکتیویته

این اندازه گیری بر حسب نوع رادیواکتیویته به صورتهای مختلف ممکن است انجام شود.

۱ـ دوزیمتری

این وسیله اندازه گیری رادیواکتیویته به صورت قلم جیبی تهیه شده است که از یک لوله عایق حاوی گاز یونیزه شونده‌ای تشکیل شده است. قسمت انتهایی لوله توسط یک عدسی و

قسمت دیگر توسط یک جسم عایق بسته شده است. در وسط لوله مفتول باریک طلا قرار دارد که در انتها به دو شاخه صفحه ای باریک تبدیل می‌شود.



شکل ۷-۷ دوزیمتر قلمی

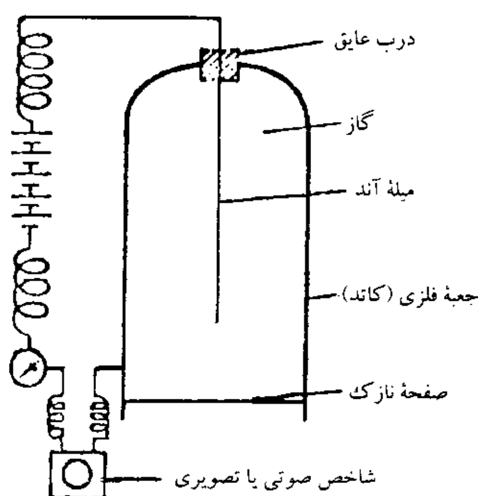
زمانی که مفتول بار الکتریکی می‌گیرد دو صفحه طلا به علت بار همنام ایجاد شده از هم دور می‌شوند که در صفحه عدسی مشاهده می‌گردد. هر قدر بار در صفحه بیشتر شود جدایی صفحات بیشتر می‌گردد. حال اگر صفحه در مقابل اشعه رادیواکتیو مانند اشعه γ و یا ذرات β قرار گیرد(به استثنای ذرات α) گاز داخل لوله، یونیزه شده و باعث کاهش بار بین دو صفحه می‌شود که در نتیجه صفحات به هم نزدیک می‌شوند. این تغییرات را مستقیماً می‌توان در روی صفحه تعبیه شده بر روی عدسی مشاهده کرد.

۲ـ کنتور گایگر

این دستگاه به اشعه γ,β,α حساس است و قادر است ذراتی را که اثر یونیزه کننده ضعیف دارند، جستجو کند. و همچنین برای شمارش تعداد ذرات نیز مناسب است. این دستگاه شامل یک سیلندر فلزی است که در یک انتها با غشاء نازکی از جنس میکا بسته شده است که حتی ذرات α نیز قابل عبور هستند. انتهای دیگر این محفظه توسط یک درب عایق که از میان، در

امتداد محور استوانه یک مفتول فلزی وارد شده است، مسدود گردیده است. این استوانه با یک گاز بی اثر مانند هلیوم ، آرگون یا گزنون پر شده است. معمولاً حاوی ماده قابل تجزیه ای دیگر مانند اتانول و گازهای پلی اتمیک آلی در فشار کم نیز می‌باشد.

مفتول فلزی داخلی به عنوان آند و محفظه فلزی خارجی به عنوان کاتد است. زمانی که رادیواکتیویته از طریق صفحه میکا وارد محفظه می‌شود، باعث یونیزاسیون گاز داخلی شده و الکترونهای آزاد شده به آند منتقل می‌شوند. و بدین ترتیب، جریان الکتریکی بین کاتد و آند برقرار می‌گردد. که بستگی به شدت رادیواکتیویته دارد و می‌توان مقدار آن را از شدت جریان حاصل به دست آورد.



شکل ۸-۷ کنتور گایگر

۳ـ دستگاه سینتیلاتور

اسپکتروفتومتر سینتیلاتور مایع، برای اندازه گیری اشعه γ, β مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه دارای دقت بیشتری برای اندازه گیری رادیواکتیویته مواد است. به طوری که با اندازه گیری ۵۷ درصد برای ترتیوم و ۹۲ درصد برای کربن ۱۴ است . به علاوه قادر است چند ایزوتوپ رادر یک زمان اندازه‌گیری کند. در این روش مواد رادیواکتیویته در

حلالهای فلوئورسانس حل می‌شوند. این محلول بعد از دریافت اشعه از ماده رادیو اکتیو آن را جذب می کند و سطوح انرژی الکتریکی آن برانگیخته می‌شوند. بازتاب انرژی بر انگیخته شده به صورت فلوئورسانس به وسیله دستگاه اندازه گیری می‌شود.

تعدادی مواد سینتیلاتور وجود دارند که بر حسب نوع فتوسل در دستگاه متفاوتند. معمول ترین حلالهای مورد استفاده مخلوطی از ۲و ۵ ـ دی فنیل اکسامول (ppo) و ۱ و ۴ ـ بیس ۲ و ۵ فنیل اگسازولیل بنزین (popop) است.

واحد اندازه گیری رادیواکتیویته

واحد اندازه گیری رادیواکتیویته به نام کوری موسوم است. که با حرف c_i نشان داده می‌شود. در ابتدا سرعت تجزیه یک گرم رادیوم (۲۲۶) به نام یک واحد کوری منظور گردید و این به علت نیمه عمر طولانی رادیوم بود. که استاندارد مناسبتری به نظر می‌رسید. امروزه یک واحد کوری عبارت است از مقدار ماده رادیواکتیویته ای که دارای سرعت تجزیه $3/7\times10^{10}$ تجزیه در ثانیه باشد. و از آنجا که راندمان دستگاههای اندازه گیری رادیواکتیویته هیچ گاه به صد در صد نمی‌رسد، در همه حال مقدار اندازه گیری شده از اندازه واقعی کمتر است.

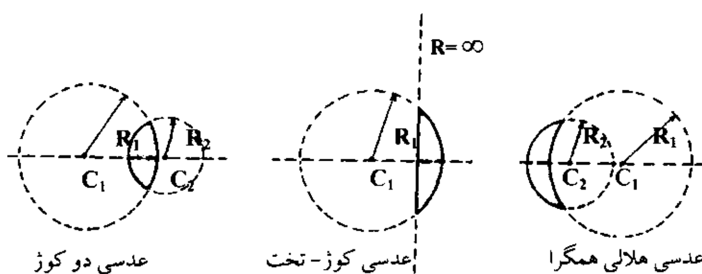


عدسی و بینایی

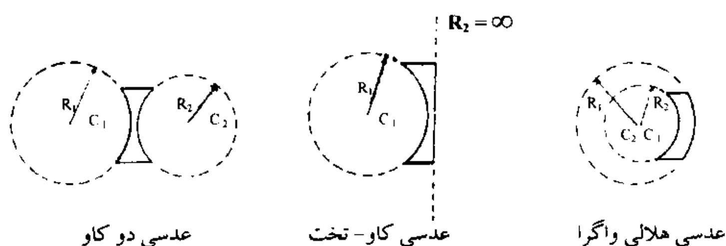
عدسی

عدسیهای ساده

هر محیط شفافی که به دو سطح کروی (یا یک سطح کروی و یک سطح تخت) محدود شده باشد یک عدسی ساده نام دارد . انواع عدسیهای ساده عبارتند از : عدسی دو کوژ، عدسی کوژ ـ تخت ، عدسی هلالی همگرا(شکل۱ ـ ۸) و عدسی دو کاو ، عدسی کاو۔ تخت، عدسی هلالی واگرا (شکل ۲-۸). عدسی های شکل ۱-۸ دارای ویژگی های اپتیکی یکسانی می باشند که آنها را عدسی همگرا می نامند و با نماد ↕ در شکلها مشخص می شود.

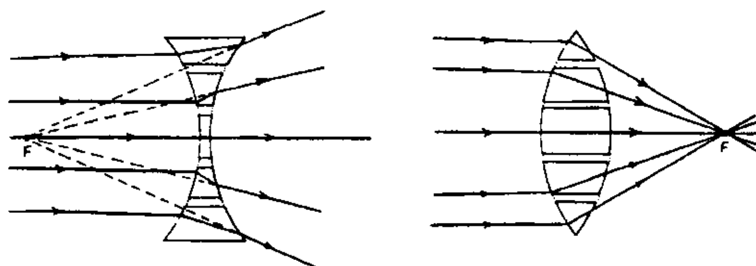


شکل ۱-۸ عدسی های همگرا (محدب). C_1 و C_2 مراکز انحنای وجوه و R_1 و R_2 شعاع های انحنای وجوه عدسی هستند. خط واصل مراکز انحنای وجوه، محور اصلی عدسی و محل تلاقی محور اصلی با عدسی، مرکز اپتیکی نام دارد. میان هر سه عدسی فوق از لبه های آن پهن تر است.



شکل ۲-۸ عدسی های واگرا (مقعر). میان این عدسی ها از کناره های آن نازک تر است.

هر عدسی ساده را می‌توان مجموعه ای از چندین منشور دانست. بنابراین با شناخت رفتار اپتیکی منشورها می‌توان پی به رفتار عدسیها در برابر پرتوها ی نورانی تابیده به آنها برد . با توجه به شکل ۳-۸ دیده می‌شود که مرکز هر عدسی ساده نظیر یک تیغه تخت عمل می کند و از این رو پرتوهای تابیده به مرکز یک عدسی ساده، بدون انحراف به موازات خود جابجا می‌شوند.



شکل ۳-۸ هر عدسی مجموعه ای است از چند منشور که هر منشور پرتوهای نور را به طرف قاعدهٔ بزرگترش منحرف می کند.

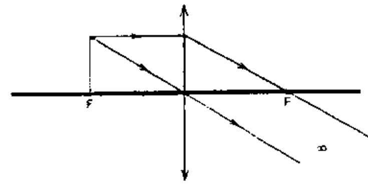
از آنجایی که ضخامت عدسیهای مورد بررسی در این بحث بسیار کم است ، میزان این جابجایی نیز کوچک است. بنابراین فرض می‌شود پرتوهای تابیده به مرکز عدسی، بدون شکست به حرکت خود در مسیر قبلی ادامه می‌دهد.

اگر یک دسته پرتو موازی محور اصلی، به یک عدسی همگرا بتابد، پس از خروج از عدسی، همه پرتوها از یک نقطه واقع بر محور اصلی عدسی می گذرند. این نقطه را کانون اصلی عدسی می‌نامند. هر عدسی دارای دوکانون اصلی می‌باشد، که مستقل از انحنای وجوه آن در یک فاصله از مرکز اپتیکی عدسی قرار دارند. با تابانیدن یک دسته پرتوموازی محور اصلی به یک عدسی مقعر، یک دسته پرتو واگرا حاصل می‌شود که امتداد همهٔ پرتوهای سازنده آن از نقطه ای واقع بر محور اصلی می گذرد. این نقطه را کانون اصلی واگرا می‌نامند. و چون امتداد پرتوها ی نور از آن گذشته است، کانون عدسی واگرا را مجازی می‌دانند. محور فرعی یک عدسی ساده هر خطی است که از مرکز اپتیکی عدسی می گذرد. اگر یک دسته پرتوموازی یک محور فرعی به یک عدسی همگرا بتابد، پس از خروج همه پرتوها از نقطه ای به روی محور فرعی موسوم به کانون فرعی می گذرند.

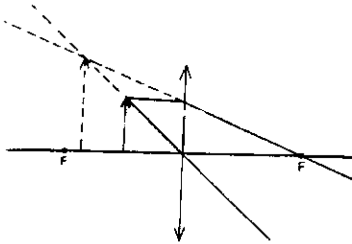
صفحه ای که در کانون اصلی برمحور اصلی عمود شود مکان هندسی کانونهای عدسی می‌باشد و سطح کانونی نام دارد. نظیر همین بحث برای عدسیهای واگرا نیز صدق می کند. با این توضیحات قوانین رسم پرتوهای تابیده بر عدسیهای ساده به صورت زیر هستند:

الف: اگر پرتویی به مرکز اپتیکی یک عدسی بتابد بدون انحراف از عدسی خارج می‌شود.

ب : اگر پرتویی به موازات محور اصلی به یک عدسی بتابد ، پس از خروج، در صورتی که عدسی همگرا باشد از کانون می‌گذرد ودر صورتی که عدسی واگرا باشد امتداد آن از کانون می‌گذرد.



شکل ۴-۸ شیء در فاصله کانونی، تصویر در طرف شیء ، مستقیم، بزرگتر و مجازی.



شکل ۵-۸ شیء در کانون، تصویر در بی نهایت.

فرمول ساده عدسیها

در شکل ۶-۸ شیئی در فاصله p از یک عدسی همگرا به فاصله کانونی F قراد داده شده است و تصویر در فاصله q از عدسی به دست آمده است. از روی شکل مشخص می‌شود که:

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q} \qquad ۸-۱$$

اگر تصویر شیئی در عدسی همگرا حقیقی باشد، فاصله شیء و تصویر برابر می‌شود با:

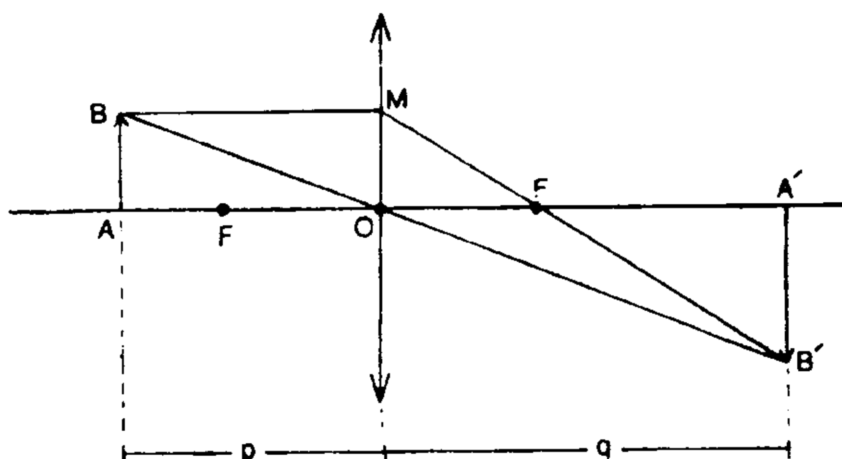
$$d=p+q \qquad ۸-۲$$

و اگر تصویر مجازی باشد:

$$d=q-p \qquad ۸-۳$$

در عدسیهای واگرا نیز فاصله شیء حقیقی از تصویر مجازیش همواره برابر است با:

$$d=p-q \qquad ۸-۴$$



شکل ۶-۸

همگرایی (توان نوری)

هر چه فاصله کانونی یک عدسی کمتر باشد ، عدسی بیشتر می‌تواند پرتوهای نورانی را همگرا یا واگرا کند. بنابراین میزان همگرایی یا واگرایی یک عدسی با عکس فاصله کانونی آن رابطه دارد. عکس فاصلهٔ کانونی عدسی را همگرایی آن عدسی می گویند.

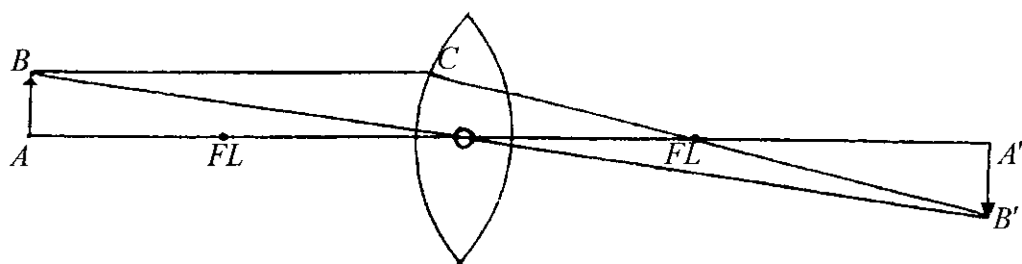
$$c = \frac{1}{F} \qquad ۸-۵$$

اگر F بر حسب متر منظور شود، همگرایی بر حسب عکس متر($\frac{1}{m}$) به دست می‌آید که به آن دیوپتری می گویند . همگرایی عدسیهای محدب با علامت (+) و همگرایی عدسیهای مقعر با علامت(ـ) نشان داده می‌شوند.

تصویر در عدسی ها

در شکل ۷-۸ جسمی که بر روی محور اصلی و در فاصله ای نسبت به عدسی که از فاصله کانونی عدسی، بزرگتر است قرار گیرد، پرتویی که از رأس جسم به موازات محور اصلی تابیده می‌شود پس از برخورد با عدسی شکسته شده و از نقطهٔ کانونی عبور می کند. پرتودیگری که از مرکز عدسی عبور می کند، بدون شکست به مسیر خود ادامه داده و پرتویی را که از نقطه کانونی عبور کرده است را قطع می کند.

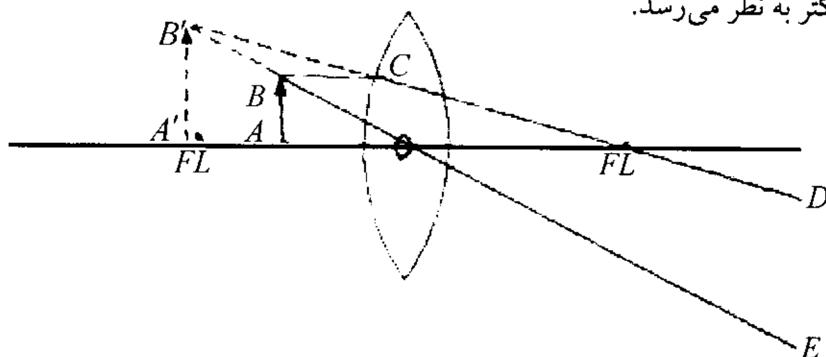
در این نقطه تصویر رأس جسم تشکیل می‌شود. فاصله بین این نقطه و محور اصلی تصویرجسم خواهد بود. که این تصویر حقیقی، معکوس و هم اندازه جسم خواهد بود.



شکل ۷-۸

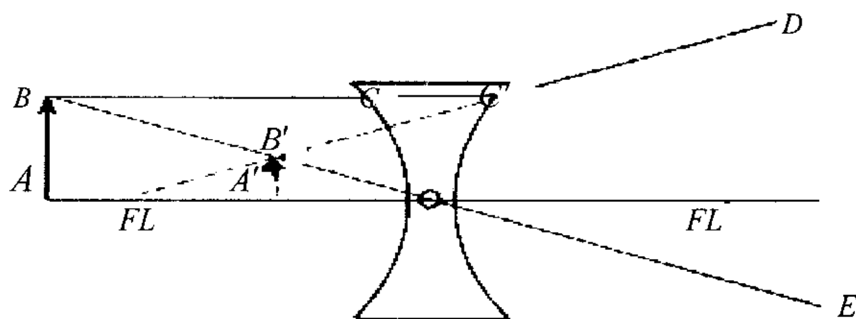
اگر همین جسم در فاصله ای کمتر از فاصله کانونی عدسی نسبت به عدسی قرار گیرد تصویر متفاوتی تشکیل خواهد شد. در این حالت پرتویی که از رأس جسم عبور کرده و به عدسی می‌رسد پس از شکست از نقطه کانونی عبور می‌کند و پرتویی که از مرکز عدسی بدون انحراف عبور می کند، پرتویی را که از نقطه کانونی عبور کرده را قطع نمی‌کند. چنانچه این پرتوها به طرف جلوی عدسی امتداد داده شوند یکدیگر را در نقطه ای واحد قطع خواهند

کرد، که این تصویر مجازی جسم خواهد بود. در این حالت تصویر معکوس نیست و از جسم اولیه بزرگتر به نظر می‌رسد.



شکل ۸-۸ تصویر پیکان AB، هنگامی که در فاصله ای کمتر از فاصلهٔ کانونی آن قرار داشته باشند.

در مورد عدسی کاو یا واگرا اگر چشمه نور دور باشد و تمام پرتو هایی که وارد عدسی می‌شوند با محور اصلی موازی باشد، پرتوها به سمت خارج خمیده یا واگرا می‌شوند. همانند عدسی کوژ، تصویر حقیقی در پشت عدسی تشکیل نخواهد شد. برای شخصی که در جلوی عدسی قرار دارد، به نظر می‌رسدکه پرتوهای واگرا از نقطه ای واقع در جلوی عدسی می‌آیند. تصاویر اجسامی که به وسیله عدسیهای واگرای نازک تشکیل می‌شوند نیز تصاویری مجازیند ولی از تصویر مجازی جسمی که در فاصله کانونی یک عدسی محدب نازک قرار می گیرد خیلی کوچکترند. این حالت در شکل ۹-۸ نشان داده شده است.

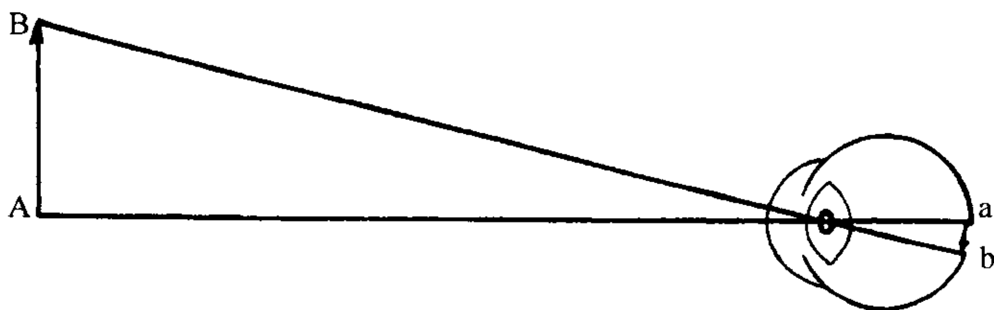


شکل ۹-۸ عدسی واگرا تصویر $A'B'$ پیکان AB *را نشان می دهد.*

عدسی در چشم

ساختار عدسی چشم انسان بسیار پیچیده تر از یک عدسی کوژ الطرفین است ، زیرا سطوح وموادی که شکست در آنها روی می‌دهد در چشم بسیار بیشتر از عدسی شیشه‌ای است. در یک عدسی شیشه ای که با هوا محصور شده باشد پرتوهای نور تنها در دو محیط شکست پیدا می کنند. یکی هنگامی که این پرتوها وارد شیشه می‌شوند زیرا از محیط رقیق تر هوا وارد محیط غلیظتر شیشه می‌شوند. دیگری هنگام خروج از شیشه که از محیط غلیظتر شیشه وارد محیط رقیقتر هوا می‌شوند. در چشم طبیعی کانون اصلی بر روی شبکیه قرار دارد. بنابراین تمام اجسام بر روی شبکیه ،کانونی می‌شوند.

در شکل ۱۰-۸ جسم AB در مقیاس کوچکتری برروی شبکیه کانونی می‌شود وتصویر وارونه (ab) تشکیل می‌شود. محور اصلی Aa و محور فرعیBb از مرکز نوری o عدسی عبور می کنند.



شکل ۱۰-۸ طرز تشکیل تصویر بر روی شبکیه چشم

در واقع چشم دستگاه پیچیده ای از قسمتهای مختلف است که به عنوان عدسی عمل می کنند. این عدسیها عبارتند از: یک عدسی کاو ـ کوژ یعنی قرنیه و مایع زلالیه ـ یک عدسی کوژالطرفین یا بلورین و یک عدسی با یک سطح کاو ، یعنی زجاجیه.

بین دو عدسی اول ، عنبیه قرار دارد که به منزله دیافراگم است. یعنی در برابر تمام نور دریافتی، مانع ایجاد می کند و بیراهی کروی ورنگی را کاهش وعمق کانون را افزایش می‌دهد.

پرتوهای نورانی وارد شده به چشم دومرتبه، یکبار در قرنیه و بار دیگر در عدسی چشم شکست می‌یابند و سرانجام تصویر اشیاء را بر روی شبکیه به طور معکوس تشکیل می‌دهند. همگرایی عدسی چشم به وسیله ماهیچه های مژگانی قابل تغییر است.

برای رؤیت جسمی که مقابل چشم قرار دارد، باید از آن تصویری حقیقی بر روی شبکیه تشکیل گردد.برای این منظور جسم باید همیشه خارج از فاصله کانونی مجموعهٔ قرنیه وعدسی چشم قرار گیرد. هر چه جسم به چشم نزدیکتر شود ماهیچه های مژگانی، عدسی چشم را می‌فشارند و در نتیجه فاصله کانونی آن کوچکتر می‌شود. این امر موجب می‌شود که در چشم سالم جسم مقابل چشم ، وارد فاصله کانونی نشود.

تغییر ضخامت عدسی چشم که به منظور رؤیت واضح تصویر صورت می گیرد، تطابق نام دارد. چشم سالم با عمل تطابق می‌تواند اشیاء را از نقاطی خیلی دور (بی نهایت) تا فاصله ۲۵ سانتی متری (کمترین فاصله دید) به وضوح ببیند.

نور و ماهیت آن

نور و روشنایی در گذشته به امواجی اطلاق می‌شد که اثر آن سبب احساس بینایی می‌گشت. ولی همانطورکه گوش نسبت به یکسری از امواج (وراء صوتی و زیر صوتی) حساس نیست، در نور هم قسمتی وجود دارد که چشم به آن حساس نیست و اشعه نامرئی نامیده می‌شود.

نوری که چشم را متأثر می‌کند و سبب احساس بینایی می‌شود قسمت جزئی از انرژی نورانی است که از منابع مختلف، نور فرستاده می‌شود. در قرن نوزدهم دانشمندان جهت مطالعه تأثیرات نورانی از وسایل دیگری مانند پیل ترموالکتریک و صفحات عکاسی استفاده نمودند، از چندین قرن پیش برای ماهیت نور دو فرضیه قائل بودند:

۱ـ فرضیهٔموجی: که طبق آن انتشار نور نتیجه حرکت ارتعاشی ومنبع نور مرکز حرکات است. هر شعاع نورانی در حقیقت معرف جهت انتشار ارتعاشات نورانی می‌باشد.

۲ـ فرضیهٔ ذره ای: طبق این نظریه، نور عبارت است از ذرات بسیار کوچک انرژی (فوتون) که از منبع نور با سرعت زیاد خارج می‌شوند. برخی از پدیده های نوری از قبیل انکسار، تداخل، و انعکاس با ماهیت موجی بودن نور و برخی دیگر مانند پدیده‌های فتوالکتریک و پراکندگی نور، با ماهیت ذره ای آن ارتباط دارند.

برخلاف تضاد ظاهری این دو خاصیت نور، این دوفرضیه موافق و مکمل یکدیگر می‌باشند. زیرا هر ذره که با سرعت زیاد در حرکت باشد، همیشه با موجی همراه است که طول موج آن از رابطه

$$\lambda = \frac{h}{mv} \qquad ۸ـ۶$$

به دست می‌آید.

(که در آن h عدد ثابت پلانک برابر با $6/626\times10^{-34}\ y/_{sec}$ و m جرم ذره و v سرعت آن می‌باشد).

از خواص مهم نور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

ـ هنگامی که نور از ماده ای به ماده دیگر وارد می شود، در سرعت آن تغییر ایجاد می‌شود. در نتیجه شکست پیدا می‌کند. نسبت سرعت نور در خلاء به سرعت آن در یک ماده، ضریب شکست آن ماده نامیده می‌شود. اگر نور با زاویه ای غیر قائم به ماده وارد شود انکسار می‌یابد، این خاصیت باعث می‌شود که نور قابلیت کانونی شدن پیدا کند.

ـ نور می‌تواند در برخورد با ماده غیر شفاف انعکاس یابد. اگر سطح انعکاس کننده ناهموار باشد، نور را در جهات مختلف پراکنده می‌سازد. حال اگر سطح مورد نظر کاملاً صیقلی و براق باشد نور تحت زاویه ای که تابیده شده است منعکس می‌شود، این پدیده را انعکاس آیینه‌ای می‌نامند.

ـ برخی از اوقات از فوتون نوری جذب شده ، یک فوتون نوری دیگر با انرژی کمتر ساطع می‌گردد. این خاصیت فلوئورسانس نامیده می‌شود. از این خاصیت در میکروسکوپهای فلوئورسانت استفاده می‌شود .

ـ پس از جذب نور انرژی آن بیشتر به صورت گرما ظاهر می‌شود. این خاصیت نور اساس استفاده از نور در پزشکی جهت گرم کردن بافتهاست.

نور مرئی

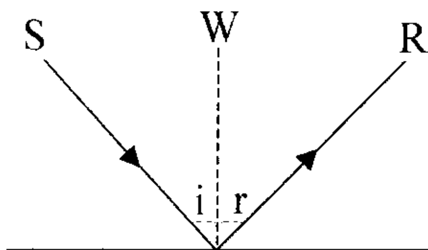
قسمت مرئی طیف امواج الکترومغناطیس برای هر موجود زنده متفاوت است. در انسان این بخش، شامل طول موجهای محدود بین ۷۷۰۰آنگستروم (انتهای قرمز طیف) و ۴۰۰۰ آنگستروم (انتهای بنفش طیف) می‌باشد، تحت عنوان نور مرئی مطالعه می‌شود. در طیف نور سفید علاوه بر رنگهای مرئی برای تمام فرکانسهای آن در هوا و خلاء یکسان است ومعادل ۳۰۰ هزار کیلومتر در ثانیه است. ولی این سرعت در سایر محیطهای مادی که وزن مخصوص آنها از هوا زیادتر می‌باشد، کمتر است.

مثلاً سرعت نور در شیشه $\frac{2}{3}$ و در آب $\frac{3}{4}$ هوا است و به علت همین تغییر سرعت است که نور در ضمن عبور از یک محیط به محیط دیگر انعکاس می‌یابد.

انعکاس نور

هر گاه یک سطح کاملاً صیقلی در معرض تابش نور قرار گیرد، جزء بسیار کوچکی از نور پخش می‌شود. ولی قسمت بیشتر آن در یک جهت معین منعکس می‌گردد و به محیط اول بر می‌گردد. این کیفیت را انعکاس نور می‌نامند. به طور کلی انعکاس در موقعی صورت می‌گیرد که اشعه نورانی به حد فاصل دو محیط مختلف از نظر غلظت برخورد کند و حد فاصل آن کاملاً صیقلی باشد. تمامی اجسامی که دارای سطوح صیقلی هستند و نور را به طریق ذکر شده منعکس می‌سازند آیینه نام دارند.

سطحی که بین شعاع تابنده و خط عمود بر آیینه در نقطه تابش تشکیل می‌شود، سطح تابش است. زاویه i بین شعاع تابیده وعمود مزبور را زاویه تابش و زاویه r بین شعاع منعکس وخط عمود فوق الذکر را زاویه انعکاس می‌نامند که در شکل نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۸

قوانین انعکاس

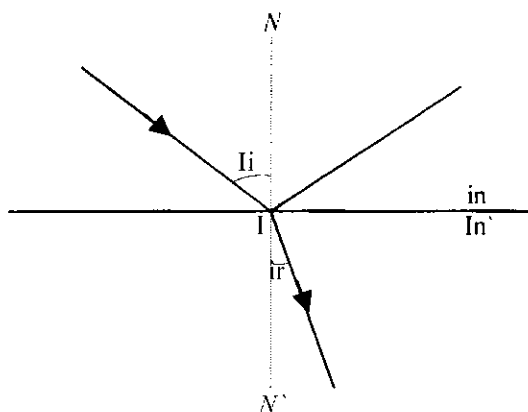
۱ـ زاویه تابش با زاویه انعکاس برابر است.

۲ـ شعاع تابش و شعاع منعکس وخط عمود به سطح آیینه در نقطه تابش، همه در یک سطح واقع است.

انکسار نور

اگر یک دسته اشعه موازی به طور مایل به حد فاصل دو محیط شفاف مختلف از نظر غلظت تابانیده شود ، قسمتی از انرژی نورانی طبق آنچه در انعکاس نور مشاهده شد، در محیط اول بازگشت می‌کند و قسمت دیگر داخل محیط شفاف دوم سیر می‌نماید. ولی مسیر نور در محیط دوم شکسته و از امتداد تابش اولیه منحرف می‌گردد.

در مورد هوا و آب در محیط دوم به خط عمود در نقطه تابش در سطح فاصل دومحیط نزدیکتر می‌شود، این کیفیت را انکسار نور می‌نامند. زاویه بین شعاع تابش و عمود فوق را زاویه تابش و سطح بین زاویه را «سطح تابش» و زاویه بین شعاع منکسر و خط عمود مزبور را «زاویه انکسار» می‌نامند.



شکل ۱۲-۸

برای انکسار نور دو قانون مهم به نام «قوانین دکارت» وجود دارد:

۱ـ شعاع منکسر در سطح تابش قرار دارد.

۲ـ در دومحیط مشخص و برای یک شعاع نور یکرنگ همیشه نسبت سینوس زاویه تابش به سینوس زاویه انکسار مقداری است ثابت.

$$\frac{Sin\,i}{Sin\,r} = n = cte \qquad ۸_۷$$

این مقدار ثابت را که معمولاً با n نمایش می‌دهند، ضریب انکسار محیط دوم نسبت به محیط اول می‌نامند و مقدار آن مساوی است با عکس نسبت سرعت مسیر نور در دومحیط. یعنی اگر سرعت مسیر نور در محیط اول v و در محیط دوم v' باشد ، ضریب انکسار محیط دوم به محیط اول برابر است با:

$$\frac{v}{v'} = n$$ ۸–۸

ضریب انکسار مطلق و ضریب انکسار نسبی

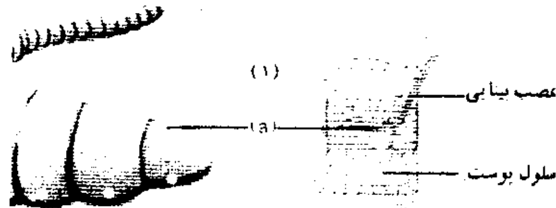
چون سرعت مسیر نور در خلاء برای تمام فرکانسهای نورانی یکسان است، ضریب انکسار برای تمام طول موجها یکی است و آن را واحد فرض می‌کنند. ضریب انکسار، سایر محیطها را نسبت به ضریب انکسار خلاء می‌سنجند و چنین ضریبی را «ضریب انکسار مطلق» می‌گویند. ضریب انکسار مطلق محیط های مادی با طول موج نور تغییر می‌کند و هر چه طول موج کوتاهتر (فرکانس بالاتر) شود، سرعت مسیر نور در محیطهای مادی کمتر ، یعنی ضریب انکسار زیادتر می شود. حال اگر ضریب انکسار یک محیط مادی واحد فرض شود و ضریب انکسار محیط دیگری نسبت به آن سنجیده شود، مقداری که به دست می آید، ضریب انکسار نسبی محیط دوم نسبت به محیط اول است.

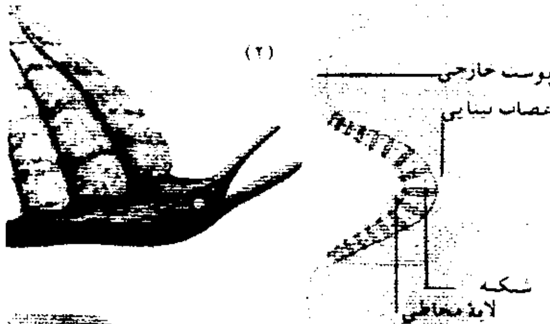
اگر ضریب انکسار نسبی محیط دوم نسبت به محیط اول و ضریب انکسار مطلق محیط اول معلوم باشد، ضریب انکسار مطلق محیط دوم با ضریب انکسار نسبی آن ضربدر ضریب انکسار مطلق محیط اول برابر است.

چشم در جانواران

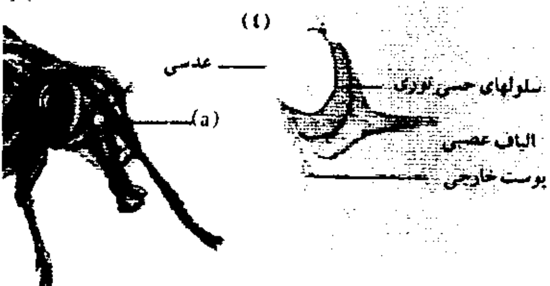
در آغاز سیر تکامل، چشم فقط یک سلول حسی ساده و حساس در برابر نور، بدون تمام اجزاء اضافی بود که به عنوان مثال در پوست یک کرم خاکی، پوست یک کرم حشره و یا در دم یک مار ماهی قرار داشت. در آن زمان چشم به عنوان دستگاه اعلام خطر کار

می‌کرد، تا جانور آن قسمت از بدنش راکه پنهان نبود مخفی کند. یا موجودات تک سلولی مانند آمیب ها و جلبک های تاژک دار، دارای نقطه هایی در بدن خود هستند که حاوی سلولهای رنگی است.









شکل ۱۳-۸ انواع چشم و مراحل بینایی:

۱- سلول های حسی نوری (a) که در پوست کرم خاکی وجود دارد بینایی تاریک- روشن را امکان پذیر می سازند.

۲- حفرهٔ بینایی حلزون کوهی با سلول های نوری پوشیده شده و به این وسیله بینایی جهت نیز امکان پذیر است.

۳- چشم حبابی با مردمک سوراخ سوزنی حلزون مارپیچی مرکب ساز، دیدن تصویر را امکان پذیر می کند.

۴- در چشم پیشانی حشره (a)، یک عدسی، نوری را که می تواند از روزنه ای گشاد وارد شود، متمرکز می کند.

این سلولهای رنگی در برابر نور تحریک می‌شوند. یک جانور کوچک ذره بینی به نام اوگلنا، رشته‌های تاژکی خود را طوری حرکت می‌دهد که همیشه روبه سوی منبع نور باشد. از این مرحله بود که سلول بینایی، سیر تکامل خود را آغاز کرد. با گذشت زمان سلولهای حسی نوری بیشتری به طور فشرده کنار هم تمرکز یافتند. پوست، تبدیل به شبکیه گردید و به صورت حفره به داخل انحنا برداشت.

نمونه این نوع حفره بینایی در صدف کوهی یا حلزون کوهی مشاهده می‌شود. این نوع چشم برای دیدن تصاویر، نامناسب، اما برای تشخیص سایه دشمن عضوی حیاتی است.

چشم در حشرات

اعضای بینایی در حشرات شامل چشمهای مرکب [1] و چشمهای ساده[2] و استماتها[3] می‌باشند. چشمهای مرکب اعضای حسی به نسبت درشتی هستند که از مجموع تعداد زیادی واحد بینایی یا اماتیدی[4] تشکیل شده اند و در دو سوی جانبی سر قرار گرفته اند.

هر اماتیدی دارای سطح شفافی به نام قرنیه از جنس کوتیکول و به شکل معمولاً شش ضلعی است. رشته های عصبی سلول بینایی، اماتیدی ها را به طور مستقیم به لبه های نوری واقع در دو طرف مغز اول مربوط می‌سازد.

1 - Ocali
2 - Ocelli
3 - Stemmata
4 - Ommatidies

شکل عمومی چشمهای مرکب معمولاً گرد، بیضی شکل و یا لوبیایی است وممکن است بین افراد نرماده یک گونه، اختلاف آشکاری وجود داشته باشد(دو شکل جنسی). چشم‌های مرکب در حشرات کامل و لاروهای بادگردیسی ناقص دیده می‌شود.

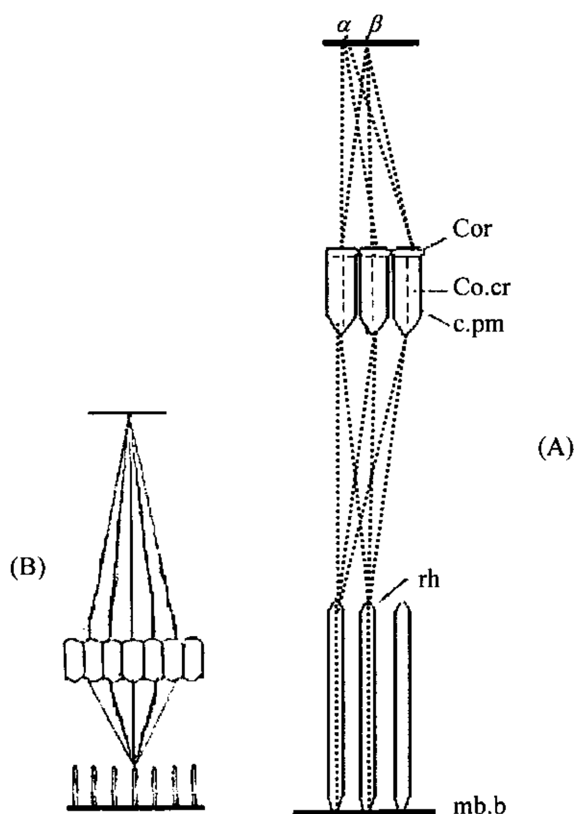
مکانیسم بینایی چشمهای مرکب

عمل بینایی و چگونگی تشکیل تصویر در چشم‌های مرکب بسته به طرز قرار گرفتن اماتیدی‌ها و ساختمان آنها به دو حالت زیر انجام می‌شود:

الف) بینایی به روش تصاویر روی هم[۱]: این روش بینایی بیشتر در حشراتی که به هنگام غروب و یا شب فعالیت می کنند دیده می شود. در این سیستم اماتیدی‌ها به وسیله لایه‌های غیر شفاف به طورکامل از همدیگر جدا نشده اند و سلولهای بینایی به وسیله یک فضای بزرگ که از مایع شفافی پر شده است از دو بخش شفاف و منکسر کننده نور یعنی عدسیه مجزا شده اند.

در این چشم طول عدسیه دو برابر فاصله کانونی آن است. پرتوهای نوری که از یک منبع به چشم می‌رسند می‌توانند چندین سلول بینایی مجاور را تحریک کنند، به طوری که هر سلول بینایی می‌تواند پرتوهایی را که از منابع نوری مختلف و یا به بیان دیگر از قرنیه های نزدیک هم به چشم نفوذ می‌کنند، دریافت کند. این عمل به سبب وجود فاصله بین سلولهای بینایی و عدسیه امکان پذیر می‌باشد در نتیجه روی هر محور بینایی تصویر مستقیم و روشنی از روی هم قرار گرفتن چندین تصویر جزء ، به وجود می‌آید. این نوع بینایی در حشرات راسته یکروزه ها، پروانه ها، بالتوریها و بال موداران دیده می‌شود.

1- vision par superposition



شکل ۱۴-۸ مسیر پرتوهای نوری در چشم مرکب. A و B - روش بینایی با تصاویر روی هم. Cor - قرنیه. Co.cr مخروط بلوری. c.pm -سلول های رنگی. rh -رابدوم. mb.b -پردهٔ پایه.

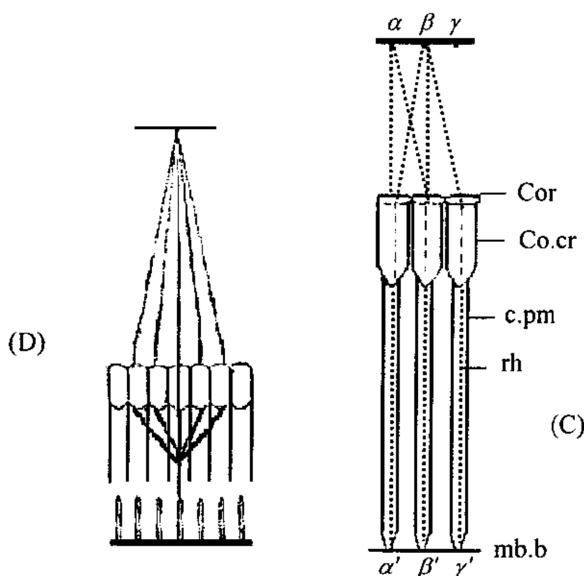
ب) بینایی به روش تصاویر کنار هم[1]: این روش بینایی در حشرات روز پرواز مانند زنبورها، مگسها، سخت بال پوشان وپروانه های روز پرواز دیده می‌شود. در این حالت هر اماتیدی از اماتیدی مجاور خود به وسیله سلولهای رنگی و غیر شفاف به طور کامل جدا شده است. به این سبب تنها آن دسته از پرتوهای نوری که با محور طولی اماتیدی موازی هستند می‌توانند به چشم نفوذ کنند. و غالب پرتوهای مورب جذب و متوقف می‌شوند. به این سبب فقط اشیایی که در زاویه مشخصی از تابش نور قرار می‌گیرند قابل تشخیص خواهند بود. این زاویه برای زنبور عسل یک درجه و برای دیگر حشرات ۷ تا ۸ درجه می‌باشد. چنین چشمی می‌تواند از اشیاء تصویر واضح اما کم نور ایجاد کند.

---

1 - Vision par apposition

سلولهای بینایی در این سیستم کوتاه و به طور مستقیم به عدسیه متصل شده اند. دستگاه انکسار نور در هر اماتیدی از عدسیه و قرنیه تشکیل شده است که مانند یک عدسی استوانه‌ای که طول آن برابر فاصله کانونی آن است عمل می کند.

در این روش تصویرهای جزء، از جسم مورد نظر در قاعده عدسیه که چسبیده به محور بینایی است به طور وارونه تشکیل می‌شود و تصویر حقیقی از کنار هم قرار گرفتن مجموعهٔ این تصویرها به وجود می آید.



شکل ۱۵-۸ مسیر پرتوهای نوری در چشم مرکب. C و D – روش بینایی با تصاویر کنار هم.Cor – قرنیه. Co.cr مخروط بلوری. c.pm- سلول های رنگی. rh – رابدوم. mb.b– پردهٔ پایه.

به طور کلی چشمهای مرکب یکی از اعضای حسی بسیار قدیمی است. در سخت پوستان و حشرات، چشمهای مرکب از رشد و تکامل مهمی برخوردارند. در صورتی که در هزار پایان و عنکبوت مانند ها چشمهای مرکب دیده نمی‌شود و جای آنها را تنها چشمهای ساده گرفته اند. چشمهای سادهٔ بالای سر، هم در حشرات کامل و هم در لاروهای با دگردیسی ناقص دیده می‌شوند. این چشمها در محل بالای سر واقع شده‌اند و حداکثر به تعداد ۳ عدد می‌باشند. یک عدد در مرکز پیشانی و دوچشم ساده دیگر نزدیک قاعده شاخکها و در محل پس پیشانی قرار می گیرند. چشمهای ساده به وسیله مرکز عصبی چشمهای ساده که بین اجسام ساقه دار مغز اول قرار دارد حساس می‌شوند.

استماتها

چشمهای ساده ای هستند که منحصراً در لاروهایی با دگردیسی کامل دیده می‌شوند. تعداد آنها به طورمعمول ۱ تا ۶ عدد است. که در دوطرف سر، در محل چشمهای مرکب قرار دارند. این چشمها مانند چشمهای مرکب با مراکز عصبی لبه های نوری در ارتباط می‌باشند.
چشمهای ساده و استماتها در محدودهٔ میدان دید خود ، قادر به درک حرکت اشیاء بوده ولی از تشخیص اجسام بزرگ ناتوان می‌باشند. در حال حاضر عقیده بر این است که این چشمها به عنوان محرک، حساسیت مراکز بینایی مغز را در عمل بینایی تشدید می کنند.

چشم در انسان

بیشتر شناخت انسان از دنیای اطرافش از طریق چشمها حاصل می‌شود. عدم توانائی که در هنگام گرفتار شدن در محیط تاریک احساس می‌شود، نشانه خوبی از وابستگی انسان به بینایی است حس بینایی از سه قسمت عمده تشکیل شده است :

۱ـ چشمها که تصویری از جهان خارج را روی شبکیه حساس به نور می‌اندازند.

۲ـ دستگاه عصبی که اطلاعات را به مغز می‌رساند.

۳ـ کورتکس بینایی.

اگر یکی از این سه قسمت کار نکند، نابینایی رخ می‌دهد. چشم شباهت زیادی به یک دوربین عکاسی دارد. اما تشابه چشم و یک دستگاه تلویزیون رنگی مدار بسته بهتر است. عدسی دوربین تلویزیون با قرنیه وعدسی چشم مشابه است. «کابل سیگنال» عصب اپتیکی است و دستگاه جعبه تلویزیون، کورتکس بینایی است.

وقتی نور درخشان باشد، اشیاء به رنگ زنده مشاهده می‌شود. در نور کم دید چشم مانند یک دوربین تلویزیون سیاه وسفید بسیار حساس عمل می‌کند و اجسام با کمتر از ۱٪ نوری که برای بینایی رنگی نیاز است، مشاهده می‌شود. دستگاه اپتیکی چشم ویژگی هایی دارد که حتی در پیشرفته ترین دوربین ها هم یافت نمی‌شود. این ویژگیها عبارتند از:

۱ـ در حالی که چشم به شیئی مستقیماً در روبرویش خیره شده است می‌تواند رویدادها را روی زاویه بسیار بزرگی مشاهده کند.

۲ـ پلک زدن باعث پاک شدن خودکار چشم می‌شود.

۳ـ چشم می‌تواند در نور زیاد روز و تاریکی شب به خوبی کار کند.

۴ـ عنبیه چشم به عنوان یک تنظیم کنندهٔ میزان نور ورودی به داخل چشم کار می‌کند.

۵ـ اگر چه قرنیه دستگاه خونرسانی ندارد ، اما از سلولهای زنده ساخته شده و می‌تواند خسارت موضعی را ترمیم کند.

۶ـ چشم یک دستگاه فشار خودتنظیمی دارد که فشار داخلی اش را در حدود ۲۰ mmHg ثابت نگه می‌دارد و بدین گونه چشم شکل کروی خود را حفظ می‌کند. اگر در چشم فرو رفتگی ایجاد شود به سرعت شکل اولیه اش را باز می‌یابد.

۷ـ چشمها در جعبه ای جاسازی شده اند که به خوبی محافظت می‌شود وتقریباً همه آن با استخوان احاطه شده است. هر یک از چشمها روی بستری از چربی که ضربه های تیز را تقلیل می‌دهد قرار دارند.

۸ـ تصویر بر روی شبکیه به طور وارونه ظاهر می‌شود اما مغز به طور خودکار آن را تنظیم می‌کند.

۹ـ مغز تصاویر هر دوچشم را در هم می‌آمیزد و به ما قوهٔ دریافت عمقی خوب و منظره سه بعدی واقعی می‌دهد. اگربینایی یکی از دوچشم از بین برود بینایی چشم باقی مانده برای بسیاری از نیازها کافی است.

۱۰ـ عظلات چشم حرکت انعطاف پذیر بالا و پایین، به طرفین و قطری را ممکن می‌سازد.

دو شکست مهم در چشم

شکست مهم تنها در دو قسمت انجام می‌شود :

الف) قسمت جلویی قرنیه: نور در این محل به دوعلت شکست شدید دارد، یکی شعاع خمش کمتر از ۸mm قرنیه در این قسمت و دیگری تفاوت زیاد، میان پایه های شکست هوا (n=1) و قرنیه (n=1/37).

ب) قسمت جلویی عدسی: ضریب شکست مادهٔ عدسی بسیار بیشتر از ضریب شکست زلالیه و زجاجیه می‌باشد. اما اختلاف به اندازه هوا و ماده قرنیه نیست. شکستهای دیگری که در قسمت پشتی قرنیه و قسمت پشتی عدسی و نقطه های دیگر انجام می‌گیرد، به علت تفاوت اندک ضریب شکست در این محیطها و محیطهای همسایه، قابل مقایسه با شکستهای اصلی نیست. می‌توان پی برد که قدرت دید قسمت جلویی قرنیه نزدیک به ۴۰ تا ۴۵ دیوپتری می‌باشد. که این قدرت دو برابر همگرایی عدسی چشم است که نزدیک به ۲۰ D است.

شبکیه

شبکیه بخش حساس به نور چشم است که محتوی مخروطها می‌باشد که مسئول دید رنگی هستند و استوانه ها، به طور عمده مسئول دید در تاریکی هستند.

لایه های شبکیه از خارج به داخل عبارتند از :

الف ـ وجود رنگدانه یا پیگمان سیاه ملانین، که در لایهٔ پیگمان دار شبکیه از بازتاب نور در سراسر کره چشم جلوگیری می‌کند و این موضوع از نظر دید واضح بسیار حائز اهمیت است. این پیگمان همان کاری را انجام می‌دهد که رنگ سیاه در داخل جعبه دوربین انجام می‌دهد.

بدون وجود این پیگمان، پرتوهای نور در تمام جهات در داخل چشم بازتاب نموده و به جای اینکه کنتراست طبیعی بین نقاط تیره و روشن که برای تشکیل تصاویر دقیق مورد نیاز است، موجب روشن کردن شبکیه خواهد شد.

ب ـ لایه استوانه‌ها ومخروطها: این سلولها نسبت به نور حساس می‌باشند و به سلولهای بینایی موسومند.

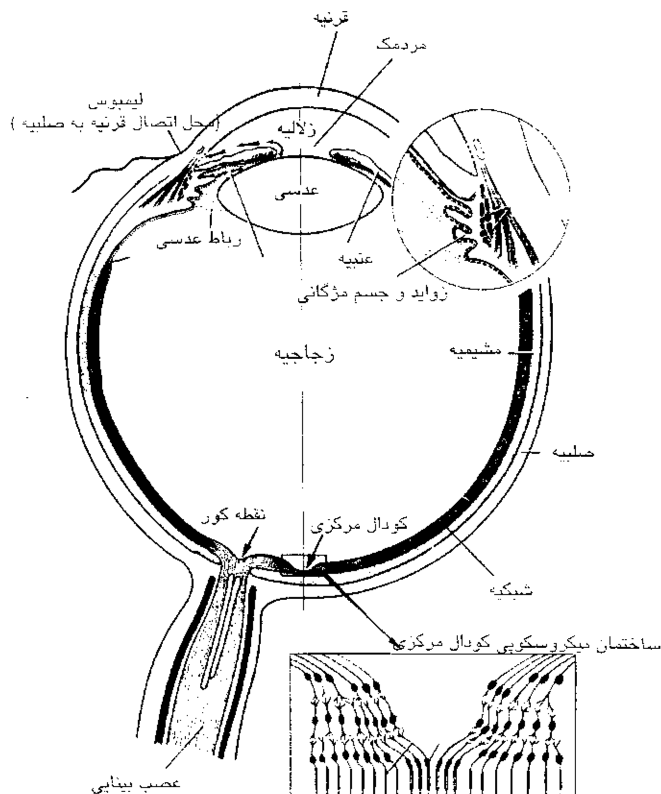
فیزیک عدسی چشم

قسمتهای جلویی قرنیه و عدسی، پرتوهای تابنده را به شدت همگرا می‌سازند. ساختار ماده سازنده عدسی همگن نیست بلکه از چند لایه ساخته شده است. لایه‌های هسته ای مرکز دارای ضریب شکست بیشتر از لایه های بیرونی می‌باشند. این افزایش غلظت به سمت مرکز عدسی قدرت همگرایی عدسی را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر انحنای لایه های سازنده عدسی به یک اندازه نمی‌باشد، بلکه انحنای لایه های بیرونی کمتر از انحنای درونی ترها می‌باشد. بطوری که قسمت مرکزی عدسی نسبت به قسمت بیرونی آن تقریباً کروی شکل است. اگر عدسی همگن بود با یک ضریب شکست متحدالشکل ۱/۴۲ تطبیق می کرد. بدین ترتیب ، قدرت کل آن برابر با قدرت یک عدسی از ۱۰ تا D[1] ۲۰ می‌بود.

شعاع انحنای قسمت جلویی عدسی ۱۰mm و انحنای سطح پشتی آن ۶mm است. ضریب شکست ماده عدسی در نزدیکی محیط ۱/۳۸۶ و ضریب شکست در هسته عدسی نزدیک به ۱/۴۴ می‌باشد که میانگین ۱/۳۹ را دارد.

۱- دیوپتر (D) ، به مرز مشترک دو محیط همگن شفاف که ممکن است تخت یا کروی باشد اطلاق می گردد.

وجود این ویژگی‌ها در عدسی باعث کاهش بیراهی رنگی و کروی می‌شود، پراش نور را در درون گوی چشم کم می‌کند و باعث جذب پرتوهای UV زیانبار می‌گردد.



شکل ۱۶-۸ برش طولی کرهٔ چشم از قرنیه تا عصب بینایی

تشابه چشم با دوربین عکاسی

چشم پستانداران قابل مقایسه با یک دروبین عکاسی است. زیرا شامل یک عدسی، یک دیافراگم قابل تغییر و شبکیه که به جای فیلم است می‌باشد . سیستم عدسی چشم شامل چندین سطح است که عبارتند از :

۱ـ سطح تمایز بین هوا و سطح قدامی قرنیه.

۲ـ سطح تمایز بین قسمت خلفی قرنیه و زلالیه.

۳ـ سطح تمایز بین زلالیه وسطح قدامی عدسی.

۴ـ سطح تمایز بین سطح خلفی عدسی و زجاجیه.

ضریب شکست هوا،۱، قرنیه ۱/۳۸، زلالیه ۱/۳۳، عدسی به طور متوسط ۱/۴۰ و زجاجیه ۱/۳۴ می‌باشد.

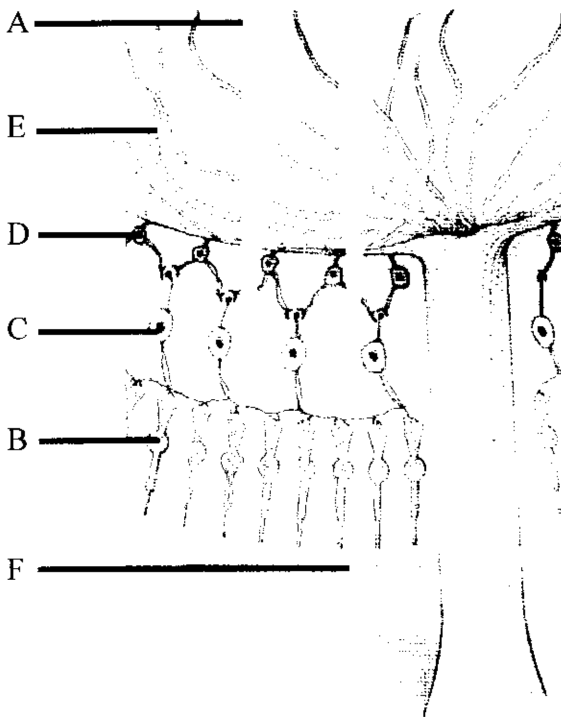
قدرت عدسی درون چشم به مراتب کمتر از بیرون آن است. بدین علت که ضرایب انکسار مایعات موجود در اطراف عدسی تفاوت زیادی با خود عدسی ندارند و این کوچکی تفاوت تا حد زیادی میزان انکسار نور را در سطوح عدسی کاهش می‌دهد. تحدب سطح قدامی قرنیه بسیار زیاد است. ولی واقعیت مهمتر آن است که ضریب انکسار قرنیه تفاوت فاحش با هوا دارد. سطح خلفی قرنیه عدسی مقعر است و عملاً کار عدسی مقعر را انجام می‌دهد.

اما از آنجا که تفاوت ضریب انکسار قرنیه و زلالیه ناچیز است ، سطح خلفی قرنیه قدرت انکساری فقط در حدود ۵ D (دیوپتری) دارد که قسمتی از قدرت انکسار سایر سطوح منکسر کننده چشم را خنثی می کند.

اعصاب و تجزیه و تحلیل تصاویر

سلول بینایی، نور را به علائم الکتریکی (پالسهای الکتریکی) که هر یک معادل نیروی الکتریکی یک هزارم ولت است، تبدیل می کند. هر چه نور، روشنتر باشد، به همان نسبت سلول بینایی، این علائم را سریعتر (نه قویتر) پرتاب می کند و این نیروی جنبشی آنی را از طریق الیاف عصبی (نورونها) به مغز هدایت می نماید.

لازم به یادآوری است که تک تک ۱۲۳ میلیون سلول میله ای تشخیص روشنایی و ۷ میلیون سلول دانه ای تشخیص رنگ در چشم انسان هر یک دارای یک شبکه اتصال جداگانه به مغز نیستند، زیرا در این صورت رشته ها یا الیاف عصبی بسیار قطور می شد. به جای آن شبکه های ارتباطی اقتصادی خلق شده که از هر ۱۳۰ رشته اتصال ۱۲۹ رشته را مازاد بر نیاز می کنند. علاوه بر آن این شبکه های ارتباطی کیفیت تصویر را هم بهتر و مطلوب تر می کنند.



شکل ۱۷-۸ دو ایستگاه اول محاسبه خطا در دستگاه اعصاب بینایی شبکیه- تشعشعات نوری (A) از بالا می آیند و سلولهای بینایی (B) را تحریک می کنند. آنگاه تحریک های آنی این سلولها، توسط سلولهای دوقطبی (C) و بعد از آن توسط الیاف عصبی شبکیه ای (D) جمع آوری و دسته بندی می شود. از اینجا اعصاب بینایی (B) بدون هیچ گونه انقطاع دیگر از طریق دیوارهٔ زیرین (F) کرهٔ چشم به مغز می روند. اینکه C و D در سر راه تشعشات نوری هستند، کیفیت تصویر را خراب تر نمی کند.

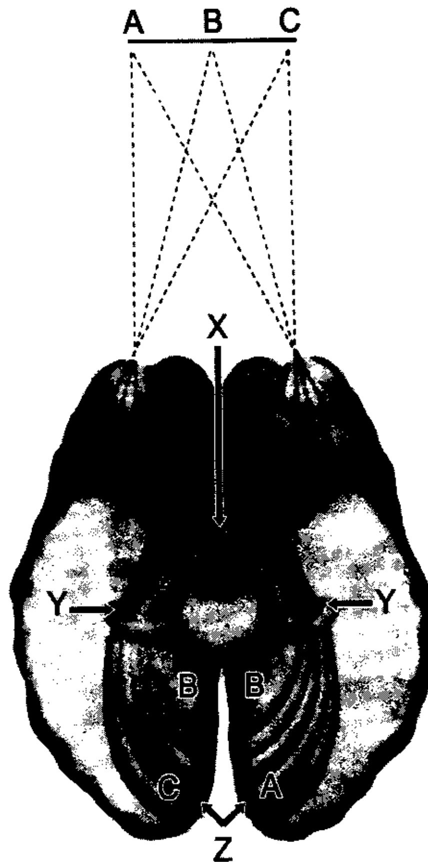
وقتی شما به یک تصویر نگاه می کنید، قضیه ظاهراً اینگونه است که این تصویر در لایهٔ بینایی مغز پیشین آشکار می شود و سلولهای عصبی را که دارای نظم و ترتیب اند، تحریک می کند. سپس مغز بوسیله آنها علائم «تصویر» را درک می کند و تشخیص می دهد. با همه اینها قضیه به

این صورت نیست، بلکه تصویری که دیده می شود، به میلیونها قسمت جدا از هم و موهوم تقسیم می شود. آنها روی اعصاب لایهٔ بینایی به صورت در هم و بر هم پراکنده می شوند. در آنجا به اصطلاح میدانهای کشف برای خطوط مستقیم روشن و تاریک در تمام جهات وجود دارد. همچنین میدانهای مشابهی برای کشف خطوط نازک و کلفت و یا برای لبه ها و گوشه ها موجود است. در نگاه اول، هیچ یک از اینها با انعکاس یک تصویر روشن ارتباطی ندارد. اما در نهایت یک تصویر عکسبرداری شده دیده می‌شود.

احتمالاً تمام این جزئیات تصویری در هم و بر هم، در قسمت های عمیقتر مغز که هنوز ناشناخته است، دوباره به صورت یک تصویر، کنار هم چیده می شود. تصویری که کاملتر از تصویر منعکس شده بر شبکیه چشم است. در یک آزمایش محققان به طور آزمایشی به چند نفر،عینکهای منشوری دادند. آنها قادر بودند جهان را فقط از طریق این عینک‌ها ببینند. در نظر آنها جهان مانند آینه های محدب و مقعری انعکاس می یافت که در تونل خندهٔ شهرک‌های بازی کار می گذارند. آینه هایی که همه چیز را به طور مسخره آمیز و خنده دار نشان می دهند. پس از گذشت چند روز دنیای کج و معوج کسانی که عینک منشوری به چشم داشتند به دنیای عادی مبدل شد و در هم ریختگی و از شکل افتادگی اشیاء ضعیفتر گردید.

پس از گذشت تنها ۶ روز، این نفرات آزمایشی، دوباره تصاویر کامل واضحی از اطراف محیط خود درک می کردند، تا اینکه مجدداً عینکهای منشوری را برداشتند. بلافاصله دوباره تمام دنیا در نظر آنها کج و معوج آمد. البته این بار این انحناها و خمیدگیها در جهت عکس بود، تا اینکه پس از گذشت ۶ روز دیگر دوباره این دنیا هم برای آنها حالت عادی خود را باز یافت.

تصور این مسأله سخت است که اعصاب بینایی ما روی تصاویر، آن طور که روی شبکیه به صورت وارونه تابیده می شوند عمل نمی‌کنند، بلکه این تصاویر را دقیقاً آن طور که هستند تجزیه و تحلیل می نمایند در حالیکه دانش الکترونیک تلویزیونی قادر به چنین اعجازی نیست. اما باید باور کرد.



شکل ۱۸-۸ لایه بینایی (Z) در نیمکرهٔ راست مغز، از یک منظرهٔ دور نما (A-B-C) فقط نیمه سمت چپ تصویر را ثبت می کند، در حالی که نیمکره سمت چپ مغز فقط خود را مشغول نیمه سمت راست تصویر می نماید. چنین حالتی با توجه به سیر عصب بینایی چشم از طریق تقاطع رشته عصبی (X) و مرکز بینایی اولیه (Y) به لایه بینایی (Z) در مغز پیشین قابل مشاهده است.

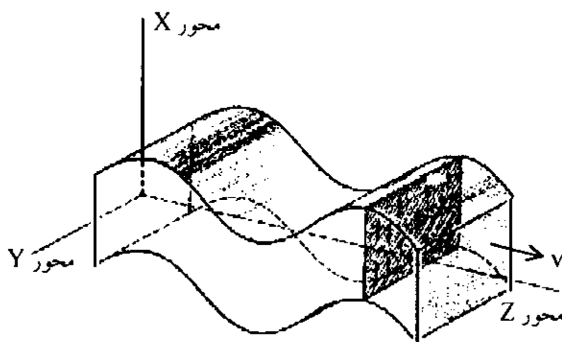


صوت

صوت یک موج مکانیکی طولی است که در هوا، آب و دیگر محیطهای مادی منتشر می شود، امواجی هستند که در اثر ارتعاش تارهای صوتی یا ارتعاش دیاپازون در هوا تولید می شوند. در صورتی که شاخه های دیاپازون به سمت جلو حرکت کند مولکولهای هوای جلوی خود را متراکم کرده و هنگامی که به عقب بر می گردد فشار این مولکولها کاهش می یابد. این تغییرات متناوب در فشار مولکولهای هوا، چنانچه دارای بسامدی باشد که سلولهای عصبی گوش داخلی را تحریک کند موج صوتی تولید می کند. در حرکت یاگسیل موج مکانیکی ماده منتقل نمی شود. امواج صوتی از خلاء عبور نمی‌کنند زیرا در خلاء مولکولی وجود ندارد.

امواج مکانیکی طولی

اگر نوسانهای ذره ها در راستای عمود بر گسیل موج باشد، موج عرضی و اگر نوسان امواج در راستای گسیل امواج باشد موج طولی است. امواج مکانیکی طولی می توانند در محیطهای گازی، جامد و مایع منتشر شوند. انتشار امواج در بافتهای بدن به صورت امواج طولی است. ولی امواج مکانیکی عرضی فقط در جامدات منتشر می شوند. علت این است که نقاط یک موج عرضی به موازات یک صفحه نوسان می کند. و به این علت محیط باید نیروهایی به موازات آن صفحه اعمال کند.



شکل ۱-۹ یک موج تخت سینوسی

یک محیط جامد می تواند چنین نیروهایی را اعمال کند ولی یک شاره نمی تواند. در نتیجه فقط امواج طولی می تواند در شاره هایی مانند آب و هوا منتشر شود.

موجهای کوچک روی سطح آب مثال آشنایی برای امواج در محیطهای دو بعدی‌اند. شکل ۱ـ ۹ یک محیط سه بعدی را نشان می دهند که در آن یک موج عرضی به موازات محور Z حرکت می کند در حالی که خود محیط به موازات xy نوسان می‌کند. این موج را یک موج

تخت می گویند. زیرا جابجایی تمام نقاط صفحه عمود بر محور Z در هر لحظه با هم مساوی است. همچنین راستای انتشار امواج تخت یکی است.

انرژی امواج به شکل انرژی پتانسیل و جنبشی جابجا می‌شود. شدت انرژی موج صوتی یا فراصوتی(I) اندازه انرژی است که از یک متر مربع در ثانیه می گذرد و با وات بر متر مربع (w/m^2) نشان داده می شود. برای یک موج تخت اندازه شدت انرژی(I) از برابری زیر به دست می آید.

$$I = \frac{1}{2}\rho CA^2(2\pi f)^2 = \frac{1}{2}\rho C\omega^2 A^2 = \frac{1}{2}Z(A\omega)^2 \qquad ۹_۱$$

که در آن ρ چگالی محیط، C سرعت موج، f بسامد و ω سرعت زاویه ای می باشد. اندازهٔ A دامنه ماکزیمم یا بیشینه جابجایی اتمها و یا ذرات در حال تعادل است. شدت امواج را می توان برای بیشینه تغییر فشار نیز به دست آورد و سرانجام فشار موج صوتی یا فراصوتی از برابری زیر به دست می آید.

$$P = \sqrt{2}\rho CI \qquad ۹_۲$$

در این برابری P فشار موج، ρ چگالی،C سرعت و I شدت است.

سرعت صوت

سرعت موجهای صوتی با محیطی که این موجها از آن می گذرند و همچنین با دمای محیط تغییر می کند. در دمای صفر درجه سلسیوس یعنی نقطهٔ انجماد آب، سرعت موجهای صوتی در هوای خشک برابر ۳۳۱ متر بر ثانیه است. سرعت صوت با افزایش دما افزایش پیدا می کند. به ازای افزایش هر یک درجه دمای مطلق، سرعت صوت به اندازه ۰/۲ متر بر ثانیه افزایش می یابد. چون سرعت موج مساوی حاصلضرب بسامد در طول موج است، اگر بسامد ثابت بماند با افزایش دما، طول موج افزایش می یابد و اگر طول موج ثابت بماند با افزایش دما بسامد افزایش خواهد یافت.

از سه حالت ماده جامدها و مخصوصاً فلزها،موجهای صوتی را بهتر هدایت می کنند. هدایت موجهای صوتی در گاز ها ضعیف است. سرعت صوت در هوای مرطوب بیشتر از سرعت صوت در هوای خشک است.

سرعت صوتهای شنوایی در هوا تقریباً همان ۳۳۱ متر بر ثانیه است. بنابراین طول موجی با بسامد ۱۰۰۰ دور برابر ۰/۳۳۱ و یا ۰/۳۳ متر و طول موج صوتی با بسامد ۱۰۰ دور برابر و یا ۳/۳۱ متر بر ثانیه است. چون سرعت صوت در آب تقریباً ۴ برابر سرعت صوت در هواست بنابراین طول موج بسامدهای مختلف در آب نیز به نسبت ۴ برابر، بزرگتر خواهد بود.

با اندازه گیری فاصله زمانی میان رؤیت درخشش برق و شنیدن صدای رعد، فاصله درخشش برق تا ناظر را می توان تقریباً برآورد کرد. بدین ترتیب که اگر زمان (بر حسب ثانیه) در سرعت صوت که ۳۳۵ متر بر ثانیه است ضرب شود، فاصلهٔ تقریبی ناظر تا محل درخشش برق به دست می آید.

شدت صوت

شدت یک صوت عبارت است از انرژیی که در واحد زمان از واحد سطح می گذرد و عمدتاً به انرژی موج صوتی که به پردهٔ صماخ برخورد می کند بستگی دارد. هر چه انرژی صوتی بیشتر باشد شدت آن نیز بیشتر است. موج صوتی که از چشمه صوت پخش می شود، شدتش کاهش می یابد. یعنی شدت صوت به نسبت عکس مجذور فاصله از چشمه تغییر می کند.

شدت یک موج با اندازه گیری انرژی E که در مدت زمان t به یک آشکار ساز(مثلاً میکروفون) می‌تابد تعیین می شود. پس شدت موج از رابطهٔ زیر به دست می آید:

$$I = \frac{E}{At} \qquad ۹_۳$$

که A مساحت آشکار ساز می باشد. یکای شدت در دستگاه SI، ژول بر متر مربع در ثانیه ($j / m^2.s$) یا وات بر متر مربع (w/m^2) است.

تشدید

واکنش دستگاهی که با بسامد معینی نوسان یا ارتعاش می کند، نسبت به دستگاه دیگری که از خارج و با همان بسامد بر آن اثر می کند را تشدید می گویند. هوای داخل حفره بسته به اندازه شکل آن می تواند با بسامد معینی ارتعاش کند. این مطلب را می توان با یک لولهٔ باز آزمایش کرد . اگر هوا در امتداد یکی از دو سر لوله به داخل آن دمیده شود، موجهای تشکیل شده در طول استوانه لوله پیش می روند. بسته به قطر و طول لوله، بعضی از این موجها تا انتهای لوله پیش می روند سپس باز می تابند و منجر به گسیل صوت می شوند. صدای انسان نیز

مانند لوله های رگ، وسایل بادی و حفره های تشدید کننده که در پشت وسایلی مانند ویولن و ویولن سل قرار دارد آهنگها را به همین روش تولید می کند.
انسان بر خلاف تمام موجودات زنده می تواند اصوات گوناگونی تولید کند. زیرا تارهای صوتی می توانند ارتعاشهایی با بسامدهای گوناگون تولید کنند و نیروی حاصل از جریانهای هوایی که ازروی این تارها عبور می کنند می تواند مولد شدتهای مختلف باشد.

مقیاس دسی بل(dB)

بلندی نیز مانند شدت به انرژی موج صوتی وابسته است. اگر چه بلندی قابل درک یک صوت باشدت آن افزایش می یابد، اما رابطه میان بلندی و شدت صوت خطی نیست. تغییرهای نسبی شدت یا اندازه کاهش انرژی با یکای بل (B) بیان می شود. بل یکای احساس شنوایی است و آن مقایسه شدت دو صوت است که شدت یکی از آنها شدت آستانه باشد بنا به تعریف :

$$B = Log \frac{I_2}{I_1} \qquad ۹_۴$$

چون شدت با دامنه بستگی مستقیم دارد($\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1^2}{A_2^2}$) پس می توان بل را برای دامنه هم بکار برد.

$$B = Log \frac{A_2^2}{A_1^2} \qquad ۹_۵$$

(دسی بل ده برابر بل است).

$$dB = 10Log\frac{I_2}{I_1}$$ ۹_۶

گوش انسان می تواند اصواتی با شدتهای $^{-12}10$ تا ۱ W/m^2 را بشنود. حدود این گستره بر حسب مقیاس دسی بل از:

$$B = 10Log\frac{I_2}{I_1} = 10Log\frac{10^{-12}\,W/m^2}{10^{-12}\,W/m^2} = 10Log1 = 0dB$$ ۹_۷

تا

$$B = 10Log\frac{1W/m^2}{10^{-12}\,W/m^2} = 10Log10^{-12} = 120dB$$ ۹_۸

خواهد بود. در ترازهای شدت بالاتر از ۱۲۰ دسی بل اثر صوت به درد تبدیل می شود. یعنی موج به جای شنیده شدن حس می شود.

برخورد امواج فراصوتی به مرز میان دو محیط:

هنگامی که موجی با زاویه عمود به مرز مشترک دو محیط برخورد می کند بدون هیچ انحرافی از محیط دوم و در راستای تابش گذر می کند. البته بخشی در همان راستا بازتاب می شود. اگر تابش امواج به صورت مایل به مرز مشترک دو محیط انجام گیرد سرعت صوت (C) در دو محیط یکسان نباشد، موج در محیط دوم شکسته می شود.

قانونهای اسنل[1]

هنگامی که موج فراصوتی به مرز مشترک دو محیط برخورد نماید بخشی از آن بازتاب پیدا کرده و بخشی به درون آن راه می یابد. اگر زاویه تابش θ_i و بازتابش θ_r و شکست θ_t باشد برابر قانونهای اسنل:

الف) موج تابشی ، بازتابشی و گذری[2] در یک صفحه اند.

ب) زاویه تابش با زاویه بازتابش برابر هستند، $\theta_i = \theta_r$ و از سوی دیگر سینوسها با سرعت چنین نسبتی دارند:

$$\frac{Sin\theta_i}{Sin\theta_r} = \frac{C_1}{C_2} \qquad ۹_۹$$

اگر زاویه تابش به اندازه ای برسد که زاویه شکست ۹۰ درجه شود یعنی مماس بر مرز مشترک دو محیط:

$$\theta_t = 90 \Rightarrow \frac{Sin\theta_i}{Sin90} = \frac{C_1}{C_2} \Rightarrow Sin\theta_i = \frac{C_1}{C_2} \qquad ۹_۱۰$$

زاویه تابش در این حالت زاویه بحرانی نامیده می شود. در این حالت موجی وارد محیط دوم نخواهدشد و بازتاب کلی وجود دارد.

هنگامی که امواج صوتی به دیواره سخت برخورد می کنند(برخورد امواج صوتی به کوه) بازتاب می یابند. در اینجا بازتاب یا اکو یا پژواک هنگامی به وجود می آید که اندازه های دیواره سخت(رویه بازتاب کننده) نسبت به طول موج امواج تابشی بسیار بزرگتر باشد. هر اندازه که دانسیته یا چگالی محیط دوم(رویه بازتاب کننده) بیشتر باشد دامنهٔ بازتابش بلندتر و

1 – Snell

۲ - شکست همان تابش گذری است.

در امواج شنیدنی آشکار تر خواهد بود (برخورد فریاد با سنگهای کوه). از سوی دیگر هر چه طول موج تابنده کوچک تر باشد بازتاب اکو بهتر انجام می شود(مانند این است که رویه بازتاب دهنده بزرگتر است). از مطالب فوق پدیدهٔ بازتابش درباره امواج فراصوت که طول موج کوتاهتری دارند بهتر انجام خواهد گرفت.

اثر دوپلر

هنگامی که چشمه امواج صوتی مانند بوق اتومبیل، سوت قطار یا صدای موتور هواپیما به شخصی که به صدای آنها گوش می کند نزدیک یا دور شود پدیده جالبی رخ می دهد. در این حالت هنگامی که چشمه نزدیکتر یا دورتر می شود، ارتفاع صوت به ترتیب بیشتر و کمتر می شود. عامل دیگری که در ارتفاع صوت مؤثر است سرعت چشمه است. بدین ترتیب که هر چه سرعت چشمه به شنونده نزدیک یا از او دور می‌شود بیشتر باشد، تغییر ارتفاع صوت بیشتر خواهد بود. این پدیده به نام فیزیکدان اطریشی دوپلر (۱۸۵۳-۱۸۰۳) اثر دوپلر نامیده شد.

اگر بسامد ارتعاش یک چشمه موج صوتی n باشد، مدام که چشمه صوت و شنونده ساکنند، شنونده در هر ثانیه این موجها را با آهنگ یکسان n دریافت می کند. ولی هنگامی که شنونده و چشمه نسبت به هم در حرکت باشند خواه چشمه صوت یا شنونده یا هر دو در حرکت باشند، بسامد دریافتی با بسامد واقعی اختلاف خواهد داشت. بسامد دریافتی هنگام نزدیک شدن بزرگتر از بسامد واقعی و هنگام دور شدن کمتر از بسامد واقعی خواهد بود. هنگامی که شنونده و چشمه به هم نزدیک می‌شوند در هر ثانیه شنونده تعداد بیشتری موج (n+) دریافت می کند.

در حالی که هنگام دور شدن شنونده نسبت به حالت سکون، تعداد کمتری موج (n-) دریافت خواهد کرد. اگر بسامد چشمه f و بسامد موج بازتاب که به شنونده می رسد f' باشد، می‌توان تفاوت دو بسامد تابنده و بازتابی را که بسامد دوپلر نام دارد چنین برآورد نمود:

$$f' = f\left(\frac{C \pm v}{C}\right) \qquad (\Delta f = f - f') \qquad ۹_۱۱$$

نشانه مثبت و منفی برای حالاتی است که چشمه و شنونده به هم نزدیک و یا از هم دور می شوند در این برابری، C سرعت صوت در محیط و v سرعت حرکت نسبی چشمه و شنونده است. اگر $v \leq C$ و تابش عمود باشد، بسامد دوپلر را می توان از برابری زیر به دست آورد.

$$\Delta f = 2v\frac{f}{C} \qquad ۹_۱۲$$

در کاربرد تشخیصی فراصوت پیش می آید که راستای حرکت موج بازتاب یافته با موج تابنده زاویه θ را تشکیل می دهد در این حال:

$$\Delta f = 2v(Cos\theta)\frac{f}{C} \qquad ۹_۱۳$$

گسترهٔ شنوایی انسان

بسامد موجهای صوتی که توسط انسان شنیده می شود با سن افراد و در افراد مختلف تغییر می کند. هر چه سن انسان بیشتر می شود حساسیت او نسبت به بسامد های بالا کمتر می شود. امواج مکانیکی طولی که بسامد آنها در گسترهٔ میان ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز(دور بر ثانیه) قرار دارد توسط گوش انسان به صورت صوت شنیده می شود. امواجی با بسامد بالاتر از

۲۰۰۰۰ هرتز را امواج فراصوتی و امواجی با بسامدهای کمتر از ۲۰ را امواج فروصوتی می نامند. اصوات فراصوتی و فروصوتی به ترتیب بالاتر و پایین تر از حد شنوایی انسان هستند.

صوت و شنوایی

صوت و تکلم نتیجه ارتعاش تارهای صوتی است. ارتفاع صدای انسان با کشیدگی و سختی تارهای صوتی تنظیم می شود. شدت صوت نیز در اثر نیروی جریان هوایی که از روی تارهای صوتی می گذرد، تولید می شود.

در اثر تحریک سلولهای عصبی موجود در گوش داخلی و تعبیر این ضربه ها در مغز شنوایی حاصل می شود. گوش ساختاری است که امواج صوتی خارج از طریق آن به سمت سلولهای عصبی گوش داخلی عبور می کنند. معمولاً گوش را به سه ناحیه تقسیم می کنند گوش بیرونی، گوش میانی و گوش درونی.

گوش بیرونی

ساختمان بیرونی کمترین نقش را در دستگاه شنوایی دارد و فقط به هدایت امواج صوتی به درون مجرا کمی کمک می کند. در برخی از جانوارن، لاله گوش در گردآوری انرژی صوتی و متمرکز ساختن آن روی پردهٔ گوش نقش دارد.

گوشهای بزرگ فیل و بسیاری از جانوران صحرایی نیز نقش بزرگی در خنک کردن بدن آنها دارد.

گوش خارجی شامل لالهٔ گوش، مجرای گوش و پردهٔ صماخ می باشد که به پردهٔ صماخ معمولاً پردهٔ گوش خارجی می گویند. این پرده به شکل مخروط است و در سطح بیرونی ثابت

می شود. قطر پردهٔ گوش حدود ۰/۱ میلی متر و مساحت آن حدود $۶۵mm^2$ می باشد. این پرده نوسانات هوا را به استخوانهای کوچک گوش میانی منتقل می کند. به علت اتصال خارج از مرکز استخوان چکشی، پردهٔ گوش به طور متقارن نوسان نمی کند. مجرای شنوایی حساسیت گوش را در گسترهٔ ۴۰۰۰Hz – ۳۰۰۰ افزایش می دهد و بسامد تشدید آن حدود ۳۳۰۰Hz است بدین ترتیب معلوم می شود که گوش در این ناحیه بیشترین حساسیت را دارد. این مجرا را می توان به عنوان یک اندام لوله ای شکل در نظر گرفت.

گوش میانی

مهمترین مجرا از نظر شنوایی مجرای میانی است. بر روی غشاء پایه این مجرا، حساس ترین قسمت یعنی اندام کورتی قرار گرفته است. اجزای اصلی گوش میانی را سه استخوان کوچک تشکیل می دهد که در یک محفظه قرار گرفته اند. این استخوانها پیش از تولد به بیشترین اندازه خود (اندازه گوش بزرگسالان) می رسند (جنین درون رحم توان شنیدن دارد). محفظهٔ گوش میانی در قسمت پایین دارای شکل شیپوری است و منتهی به یک راه ارتباطی به حلق می باشد که مجرای اوستاش نامیده می شود. مجرای اوستاش نقش مهمی در تخلیه ترشحات و تنظیم فشار در دو طرف پردهٔ صماخ دارد.

انتقال مکانیکی و تقویت انرژی صوتی دریافت شده توسط پردهٔ صماخ به دریچهٔ بیضی، بر عهدهٔ گوش میانی است. این عمل توسط سه قطعه استخوان متحرک صورت می گیرد. استخوان چکشی به پردهٔ صماخ و استخوان رکابی به پردهٔ بیضی متصل است و رابط این دو، استخوان سندانی است. جابجایی پردهٔ صماخ باعث حرکت استخوانها می‌شود.

این استخوان ها با فشار امواج صوتی را در ورودی گوش درونی افزایش می دهند. حرکت اهرمی استخوانها طوری است که میزان حرکت کفۀ استخوان رکابی در سوراخ بیضی شکل گوش درونی حدود ۰/۷ حرکت استخوان چکشی در پردۀ گوش می باشد.

بنابراین کارکرد اهرمی ، نیرو را ۱/۳ برابر می کند. نسبت سطح مؤثر پردۀ گوش به کفۀ استخوان رکابی حدود ۱۵ به ۱ است. این بهره به همراه بهرۀ به دست آمده از حرکت اهرمی ۱/۳، بهرۀ کلی حدود ۲۰ را موجب می شود.

کار این بخش از دستگاه شنوایی به گونه ای است که بخشی از انرژی تلف شده صوت، در اثر تغییر ناگهانی محیط انتشار آن را جبران می کند. عبور امواج صوتی از محیط گاز (هوا) به محیط مایع (آندولنف گوش داخلی) با از دست دادن مقدار زیادی انرژی همراه است. آزمایش نشان داده است که ۹۹/۹٪ از انرژی صوتی هنگام ورود به مایع منعکس(تلف) می‌شود. که این میزان افت برابر با ۳۰dB است و فقط ۰/۱٪ یا یک در هزار آن عبور می کند. اما گوش طوری طراحی شده که با جفت کردن امپدانس[1]، میزان این هدر رفتن کاهش می یابد. فاکتورهای اصلی مؤثر بر امپدانس در گوش، قابلیت ارتجاعی پردۀ گوش و جرم آن است. در بسامدهای ۴۰۰ ـ ۴۰۰۰Hz جفت شدن امپدانس در گوش به خوبی صورت می گیرد. در بسامدهای کمتر از ۴۰۰Hz، این فنر بیش از اندازه سفت و در بسامدهای بیش از ۴۰۰۰Hz جرم این پرده بسیار زیاد می شود. وظیفه گوش میانی جبران بخشی از این اتلاف و در واقع تقویت صوت دریافتی است. لذا می توان گفت گوش میانی تا حدودی به شکل آمپلی فایر عمل می کند. این تقویت صدا که بین ۵dB ـ ۳ می باشد به خاطر ابعاد و اشکال استخوانهای سه گانه است. اما نقش

۱- امپدانس صوتی مقاومتی است (مانند مقاومت الکتریکی) که در برابر گذر امواج فراصوتی از ذره های ماده به وجود می آید.

اصلی در جبران افت انرژی صوتی مربوط به نسبت هیدرولیکی سطح پردهٔ صماخ به پردهٔ بیضی می باشد. این نسبت بین دو پرده ۲۱ است(سطح پردهٔ صماخ ۲۱ برابر پردهٔ بیضی است). این ویژگی باعث تقویت صدا حدود ۲۳dB می گردد . لذا جمعاً از میزان ۳۰dB افت صدا تا ۲۸dB در این مکانیسم، جبران می گردد.

استخوان‌های سه‌گانه و رباطهای حسی آنها نقش مهمی در حفاظت گوش در برابر صدای بلند دارند. صدای بلند سبب می شود ماهیچه های گوش میانی استخوان‌های کوچک را به دو طرف بکشند و از شدت صدایی که به گوش می رسد، بکاهند. با این عمل امکان کاستن ۱۵dB از شدت صوت وجود دارد. اما زمان مورد نیاز برای این کار حدود ۱۵ میلی ثانیه یا بیشتر است و در همین زمان کم هم ممکن است گوش آسیب ببیند. به این دلیل اشخاصی که در محیطهای پر سر و صدا زندگی می کنند، بخشی از حساسیت شنوایی خود را از دست می دهند.

ساختمان دیگری که نقش حفاظتی در گوش میانی دارد، لولهٔ اوستاش است که به سمت پایین و به طرف دهان باز می شود و به طور طبیعی بسته است نه باز.

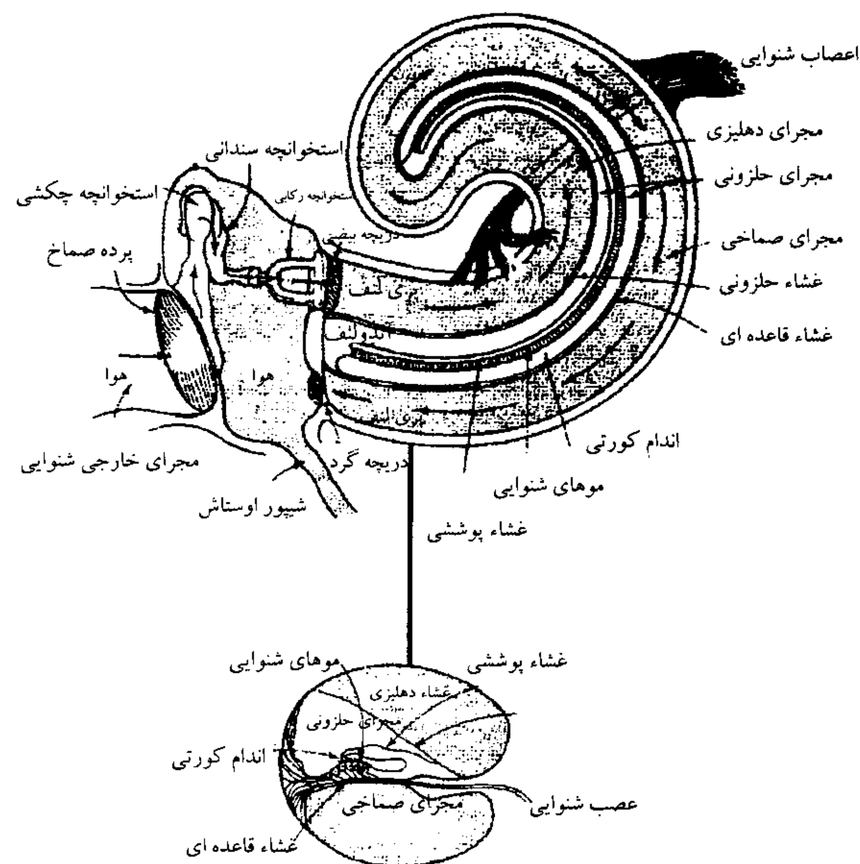
در گوش میانی هوا وجود دارد. برابر بودن فشار هوا در دو سوی پردهٔ نازک گوش مهم است و لولهٔ اوستاش، این برابری فشار را ایجاد می کند. هوا در گوش میانی به آهستگی جذب بافتها می شود و بدین وسیله فشار سطح درونی پردهٔ گوش را کاهش می دهد. حرکت ماهیچه های صورت در هنگام بلع، خمیازه کشیدن یا جویدن باعث باز شدن لوله اوستاش و در نتیجه سبب برابری فشار گوش میانی با فشار هوا می شود.

گوش داخلی

در یک برش عرضی از حلزون (شکل ۲ـ ۹) سه مجرای مختلف ملاحظه می گردد که شامل مجرای وستیبولی یا دهلیزی در بالا که از دریچه بیضی شروع می شود، مجرای صماخی یا تیمپانی که به دریچهٔ گرد ختم می شود و مجرای سوم که بین این دو قرار گرفته است مجرای میانی نام دارد. این سه مجرا با غشای مربوطه از هم جدا شده اند. این سه مجرا به صورت موازی تا رأس حلزون ادامه دارند. در حد فاصل آنها سه غشاء وجود دارد که یکی بین دهلیزی ـ صماخی دیگری بین میانی ـ صماخی و سومی بین میانی ـ دهلیزی است.

مایع درون مجرای دهلیزی و صماخی پری لنف و مایعی که در مجرای میانی است، آندولنف نام دارد. امواج صوتی به صورت لرزشهای مکانیکی از دریچه بیضی وارد مجرای دهلیزی شده و در این مجرا با اعمال فشار در طول آن مایع آندولنف را مرتعش می نماید. موج فشار، طول مجرای دهلیزی را طی نموده و در عین حال به علت ارتعاش غشاء مقداری از این فشار به مجرای صماخی و نیز میانی منتقل می گردد.

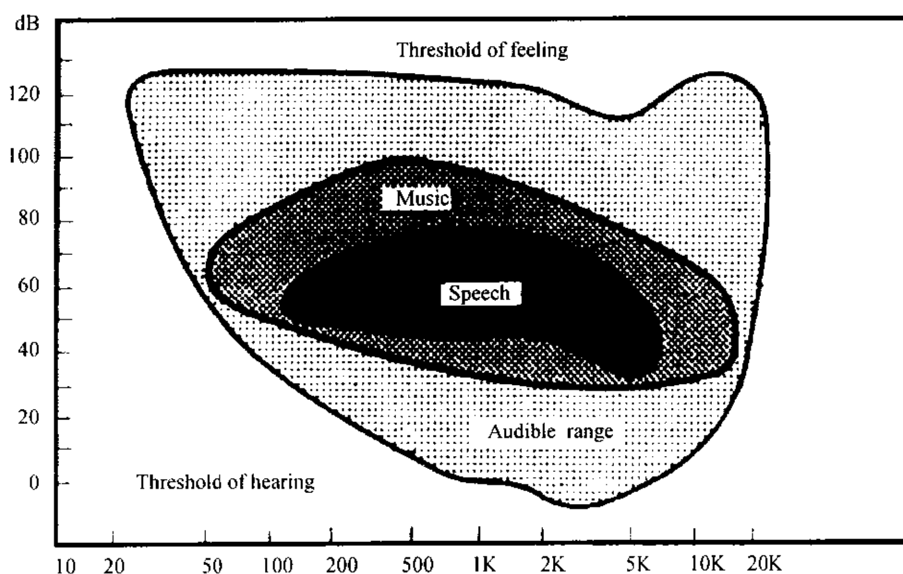
روی غشاء پایه مجرای میانی سلولهای گیرندهٔ امواج صوتی قرار دارند. این سلولها از نزدیکی دریچهٔ بیضی شروع شده و در طول مجرا تا رأس حلزون امتداد می یابند که به مجموعهٔ آن، اندام کورتی می گویند. در روی غشاء پایه مجموعه ای از سلولهای گیرنده امواج عصبی مژکدار در مایع حلزون غوطه ور هستند. زمانی که مایع درون حلزون (مایع مجرای صماخی) مرتعش می گردد، باعث ارتعاش غشاء پایه شده و در نتیجه باعث تحریک سلولهای مژکدار می شود، این عمل به پالس عصبی متناظر به فشار صوت تبدیل می گردد.



شکل ۲-۹ نمایی از حلزون گوش و سطح مقطع آن. صوت، مسیر نشان داده شده با پیکان را می پیماید و سبب می شود که موهای شنوایی در اندام کورتی غشاء پوششی مالیده شوند و اعصاب را در پای این موها تحریک کنند.

تعداد سلولهای گیرنده بسیار زیاد است طبق تخمین حدود ۳۰ ـ۲۴ هزار سلول در طول مجرا وجود دارد. از طرفی طیف فرکانسی صوت مسموع برای انسان، محدوده‌ای بالغ بر ۲۰۰۰۰ فرکانس می باشد، لذا می توان گفت بین تعداد سلولهای گیرنده و فرکانس های صوتی، تناسب وجود دارد. هر ناحیه از گیرنده ها به فرکانس‌های صوتی معینی حساسیت دارند. در

نزدیکی پرده بیضی سلولهای گیرنده به فرکانسهای بالا حساس هستند و هر چه به سمت رأس حلزون حرکت شود، حساسیت اندام کورتی به فرکانسهای پایین(بم) میل پیدا می کند. به طوری که در رأس حلزون فرکانس حدود ۲۰Hz درک می شود. با توجه به اتلاف انرژی در طول حلزون و عمل عضلات گوش میانی حساسیت گوش به فرکانسهای بم در منحنی گوش طبیعی، کمتر از فرکانسهای زیر است. شکل ۳ـ ۹ محدودهٔ شنوایی انسان را نشان می دهد.



شکل ۳-۹ نمودار گستره شنوایی

اندام کورتی

اندامی که امواج صوتی را (انرژی مکانیکی) به انرژی الکتریکی و شیمیایی تبدیل می کند، اندام کورتی نام دارد. اندام کورتی اندام واقعی شنوایی است و از دو نوع سلول تشکیل شده است. سلولهای محافظ و مویی . این سلولها بر روی غشاء قاعده‌ای قرار گرفته اند.

ارتعاشات غشاء قاعده ای و رشته های تشکیل دهندهٔ آن، موجب تحریک سلولهای مویی می شود و ایجاد امواج عصبی در رشته های عصبی می گردد که پس از رسیدن به قشر مخ موجب درک شنوایی می گردد.

اندام کورتی در ناحیه معینی از فرکانسها حساسیت بیشتری دارد که طبق تجربیات، ناحیه فرکانس ۴۰۹۶Hz ناحیه شکننده یا آسیب پذیر در گوش می باشد و در مواجهه با صدا، این ناحیه بیشترین آسیب شنوایی را متحمل می گردد. در منحنی اودیوگرام افرادی که با صدا مواجهه بیش از حد دارند، ملاحظه می گردد که همواره بیشترین آسیب شنوایی، مربوط به ناحیه درک فرکانسهای محدودهٔ ۴KHz می باشد. دلایل مختلفی در کتب شنوایی شناسی، برای این موضوع ذکر شده است. که عمده ترین آنها، کمبود جریان عروقی در این ناحیه و بازتاب انرژی امواج صوتی در مجرا می باشد.

الکتروفیزیولوژی شنوایی

بررسی اختلاف پتانسیل بین بخشهای مختلف تشکیل دهندهٔ غشاء قاعده ای، مجرای میانی و سلولهای مویی به کمک میکروالکترودهای خاص، بیانگر وجود اختلاف پتانسیل قابل توجهی بین این بخشها می باشد. این اختلاف پتانسیلها دو دسته هستند.

۱ ـ اختلاف پتانسیل دائمی که به خاطر تفاوت ساختمانی مایع آندولنف و پری لنف به طور دائمی وجود دارد و ارتباطی به تحریکات صوتی ندارد.

۲ ـ اختلاف پتانسیلی که در سلولهای مویی تحت تأثیر تحریکات امواج صوتی ایجاد می شود.

اگر میکروالکترودی در مایع آندولنف قرار داده شود، اختلاف پتانسیلی برابر ۸۰+ میلی ولت نسبت به آندولنف مشاهده می شود. این اختلاف پتانسیل برای سلولهای محافظ، برابر ۲۰- میلی ولت و در درون سلولهای مویی معادل ۷۰- میلی ولت خواهد بود. سلولهای مویی به طریقی قرار گرفته اند که مژه های آنها در داخل آندولنف و جسم سلولی در پری لنف قرار دارد. همان طور که مشاهده می شود، این سلولها اختلاف پتانسیلی برابر ۱۵۰ میلی ولت در داخل و خارج سلول دارا می‌باشند. کوچکترین اختلاف در نفوذ پذیری غشاء این سلولها می تواند موجب برقراری جریان الکتریکی بین خارج و داخل سلول گردد. سلولهای مویی دارای دو نوع زایده مژه مانند هستند. یکی زایده کینوسیلیوم که بی حرکت می باشد و دیگری زایده های استروسیلا است که ساختمانی ظریفتر دارند و متحرک می باشند. این زایده ها نسبت به انرژی های حرکتی خیلی حساس هستند و جابجایی حدود چند آنگسترم موجب تغییر پتانسیل غشاء می شود. وقتی استروسلیاها به کینوسیلیوم نزدیک می شود، یک دپلاریزاسیون حدود ۴۰- میلی ولت در غشاء ایجاد می‌گردد. حرکت مژه ها در جهت دور شدن از کینوسیلیوم موجب هیپرپلاریزاسیون می شود. در بخش قاعده ای سلولهای مویی کیسه‌های ترشحی حاوی هورمونهای عصبی قرار دارند که تحت تأثیر این تغییرات پتانسیل با ترشح هورمون رشته های عصبی را که به قاعده سلول مویی سیناپس شده‌اند تحریک می کنند.

نحوهٔ تشخیص تواتر امواج صوتی

همان طور که قبلاً گفته شد، رشته های روی غشاء قاعده‌ای از نظر طولی با هم متفاوت هستند. علاوه بر این، این رشته ها از نظر مقدار باری که از طرف مایع درون گوش داخلی به آنها وارد می شود نیز با یکدیگر متفاوت هستند. چون هر رشته ای که مرتعش می شود باید مایع بین آن رشته و دریچه بیضی هم مرتعش شود.

هر چه تواتر بیشتر باشد قدرت کمتر است. لذا به دو علت، امواج پرتواتر موجب ارتعاش رشته های ابتدایی و امواج کم تواتر سبب ارتعاش رشته های انتهایی می شود، اختلاف طول رشته ها و دیگری، اختلاف بار وارده توسط مایع درون گوش. که این خصوصیت را قابلیت ارتعاش رشته ها می نامند.

در مورد روش تعیین ارتفاع امواج صوتی تئوری های متفاوتی ارائه شده است.

۱ ـ تئوری مکانی: بر اساس این تئوری، فرکانس صدا به وسیله مکانی از غشاء قاعده‌ای که توسط آن، موج مرتعش می شود تشخیص داده می شود.

۲ ـ تئوری تواتری: بر اساس این تئوری، تشخیص فرکانس صدا توسط مغز انجام می شود و گوش داخلی در آن نقشی ندارد.

۳ ـ تئوری دو گانه: بر اساس هر دوتئوری ، وضع شده است و طبق آن تشخیص امواج فرکانس صوتی هم، بستگی به نقطه ای از غشاء پایه ای دارد که توسط موج صوتی تحریک می شود و هم به وسیله مغز تشخیص داده می شود.

تعیین شدت و ضعف صدا

تعیین شدت و ضعف صدا به سه عامل بستگی دارد.

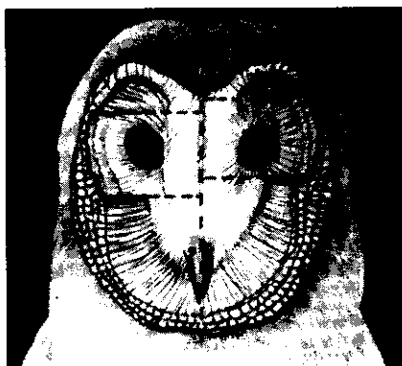
۱ ـ هر قدر شدت صدا بیشتر باشد دامنه نوسانات غشاء قاعده ای بیشتر می شود و تعداد بیشتری از سلولهای مویی و رشته های عصبی تحریک می شود.

۲ ـ هر قدر شدت صدا بیشتر باشد، زواید سلولهای مویی جابجایی بیشتری انجام می دهند و تحریک شدیدتری از رشته های عصبی به مغز می رسد.

۳ ـ میزان تحریک پذیری سلولهای مویی متفاوت است. برخی از سلولهای مویی فقط تحت تأثیر صدا های شدید تحریک می شوند.

گوش چگونه جهت صدا را تشخیص می دهد؟

در کنار سلولهای حسی تشخیصِ زیر و بم صدا، گوش داخلی دارای سلولهای حسی تشخیص دهندهٔ تفاوت شدت صدا نیز می باشد. گوش انسان ۳۵۰ درجه بندی مختلف شدت صدا را به این وسیله درک می کند. جهت یابی سمت صدا از طرف چپ یا راست و آن دسته از سلولهای عصبی به عهده دارند که تفاوت زمان رسیدن صدای واحد را در گوش چپ و راست محاسبه می کنند. این کار در مدت یک ده هزارم ثانیه انجام می شود و تشخیص شنوایی از بالا یا پایین را در واقع، شکل و فرم لاله گوش امکان پذیر می سازد.



شکل ۴-۹ جغد سفید موسوم به جغد چادر به سر یا جغد کلیسا در شب کاملاً تاریک، از طریق حس شنوایی طعمهٔ خود را هدف قرار می‌دهد. این پرنده در یورش از ارتفاع ۱۰ متری به سمت موشی که خش خش حرکتش شنیده می شود جانور را به دقت تار مو، هدف قرار می دهد.
صورت «رادار» صوتی جغد سفید یا جغد چادر به سر شدیداً نامتقارن است. این امر، شکارچی موش را قادر به شنوایی سمت بالا ـ پایین دقیق ، به هنگام یورش بردن از ارتفاع بر روی طعمه می سازد. قیف صوتی (گوش) نیمهٔ راست صورت در برابر صداهایی که از سمت بالا می آید حساستر است در حالی که گوش نیمهٔ چپ صورت به سمت پایین، بهتر صدا دریافت می کند. از تفاوت شدت صدا، همان صدای واحدی که گوش چپ و گوش راست دریافت می کند، این «تله موش پرنده» زاویهٔ ارتفاعی را که طعمهٔ شب در آنجا قرار دارد با دقت ۱/۵ درجه محاسبه می کند و به طعمه خود حمله می برد.

گوش در جانوران

اگر انسان یک میکروفون زیرآبی را به داخل یک جزیرهٔ مرجانی فرو ببرد، ناگهان در جهانی که تا آن لحظه ساکت و خاموش به نظر می رسید، سر و صداهای وحشتناکی خواهد شنید. صدای خراشیدن، سوت کشیدن، ضربه زدن، صدای کشیدن زنجیرهای سنگین بر روی آهن، صدائی مثل رعد، صدای شلاق زدن و صدای شبیه جزجز کردن روغن در ماهی تابه به گوش می رسد. خروس ماهیهای خاردار مثل شیر می غرند. اینها همه فریاد های گرسنگی، اعلام خطر، آوازهای عاشقانه، صدا کردن فرزندان و سرودهای جنگی ماهیهاست. به زحمت می توان یک ماهی را یافت که کر باشد. پس چرا انسان نمی تواند صدای ماهیها را بشنود؟ زیرا

صدایی که در آب منتقل می شود، دارای خصوصیات متفاوتی نسبت به صدایی که در هوا منتقل می شود، است.

همان طور که انسان نمی تواند زیر آب صحبت کند و فقط حباب از دهانش بیرون می‌آید و صحبتش به اصوات نامفهومی مبدل می شود، همان طور هم پرده صماخ گوش ما اگر چه می تواند هماهنگ با موجهای دامنه نوسانی بلند، اما ضعیف صوت منتقله در هوا به حرکت و نوسان در آید، اما قادر نیست با دامنه های نوسانی نسبتاً کوتاه و پر انرژی صوت منتقله در آب به نوسان در آید.

حس تشخیص فراصوت *(امواج صوتی غیر قابل شنیدن)*

هنگامی که دو موش صحرایی قهوه ای رنگ آسیایی، بدون سر و صدا با یکدیگر در حال دعوا هستند، در واقع با سوتهای فراصوت با فرکانس حدود ۵۰ کیلوهرتز بر سر یکدیگر فریاد می کشند تا اعصاب طرف مقابل را خرد کنند. طرف بازنده این آوازهای جنگی فراصوت، بلافاصله فرکانس صدای خود را به سوتهای دامنه بلند ۲۵ کیلوهرتز تغییر می دهد تا مانع گاز گرفتن طرف برنده گردد.

انسان می تواند با فرستنده های صوتی اولتراسوند(فراصوت)، موش صحرایی، موش موش کور و سمور کوهی را از خانه و باغ فراری دهد. البته به این ترتیب گربه و سگ خانگی را هم که قادر به شنیدن این فرکانسها هستند از خانه فراری خواهد داد.

سوتِ صدا کردن سگ، در گوش انسان باصدایی نسبتاً کوتاه شنیده می شود. اما صدای بسیار بلندتر فراصوتی(اولتراسوند) سوت، توسط جانور از چند صدمتر فاصله تشخیص داده می شود. گربه ها هم از «فرستنده های محرمانه» موشها استراق سمع می کنند[1].

مشکل بزرگ برای پژوهش در این زمینه به هر حال در سال ۱۹۸۵ در چگونگی تولید صداهای فراصوت پدیدار شد. جانوران نه تنها صداهای فراصوت را می شنوند، بلکه خود نیز می توانند چنین صداهایی را ایجاد کنند تا بااستفاده از پژواک آن جهت یابی نمایند. از این دسته جانوران می توان خفاشها، دلفینها و سایر نهنگ ماهیها را نام برد.

خفاش دماغ نعلی، فریادهایش را از میان بینی بر می آورد. بینی این جانور برای این منظور به صورت یک بلند گوی قیفی(مگانون) شکل در می آید. یک عضو آیینه مقعری شکل، که سوراخهای بینی را به صورت حفره ای در میان گرفته است، صوت را متمرکز و به سمت هدف روانه می کند. این جانور پرندهٔ پستاندار، پیکره و اندام اجسام را در پژواک صدایش که به آنها برخورد می کند نه به تقریب، بلکه به دقت تصاویرِ عکاسی می‌شنود و از وجود آنها آگاه می شود.

بسیاری از دلفینها و سایر نهنگها هم می توانند تصاویر را بشنوند. آنها به این وسیله قادر به راهیابی و جهت یابی در آبهای تاریک و یاتیره و گل آلود هستند.

---

۱ - در اوایل دهه ۱۹۸۰ روسها در سفارت هلند در مسکو میکروفونهای استراق سمع پنهانی کار گذاشته بودند که با امواج فرا صوت کار می کردند. دو گربه سیامی سفیر هلند که طبعاً وجود موشهایی رادر پس کاغذ دیواری گمان می بردند، موجب کشف میکروفونها شدند.

عنبرنهنگ ها امواج فراصوتی ایجاد می کنند و آنها را با کمک یک عدسی که از چربی تشکیل شده و در سر جانور قرار دارد، به صورت متمرکز به سوی هدف روانه و هدف را به این طریق شناسایی می کنند.



بیومکانیک

تعریف

بیومکانیک[1] از دو کلمه Bio به معنی حیات و Mechanic تشکیل شده است و در مجموع به معنی بررسی مکانیکی حرکات سیستم محرکه بدن انسان است. مکانیک علمی است که در مورد سکون و حرکت اجسام بحث می کند و شامل دو قسمت حرکت و سکون است:

1- Biomechanic

۱ـ حرکت [1]: دینامیک درباره حرکت اجسام بحث می کند و خود شامل دو قسمت سینتیک [2] و سینماتیک [3] است.

سینتیک عبارت است از بررسی علت حرکت (نیرو) مانند اثر عضلات و اعصاب در حرکت عضو.

سینماتیک: عبارت است از بررسی هندسی حرکات بدون در نظر گرفتن علت حرکت.

۲ ـ سکون [4]: علمی است که دربارهٔ سکون اجسام بحث می کند.

در بررسی عملکرد مفاصل بیشتر از علم دینامیک و کمتر از علم استاتیک استفاده می شود که در ادامهٔ بحث آمده است.

نیرو، عامل همه حرکتها در جهان است. اولین نیروی بنیادینی که توصیف شد نیروی گرانشی بود که نیوتن آن را تدوین کرد. مطابق این قانون بین دو جسم، همواره نیروی گرانشی وجود دارد. نیروی الکتریکی یکی دیگر از نیروهای بنیادین می باشد که پیچیده تر و بزرگتر از نیروی گرانشی است. بدن ما نوعی ماشین الکتریکی است که در آن نیروهای تولید شده توسط ماهیچه ها از کشش و رانش میان بارهای الکتریکی گوناگون سرچشمه می گیرد. کنترل ماهیچه ها هم در اصل الکتریکی است. سلولها نیز به علت اختلاف بار در درون و بیرون دیواره سلولی، دارای یک اختلاف پتانسیل الکتریکی می‌باشند. کار مکانیکی توسط تمام موجودات زنده انجام می شود. این حرکات مکانیکی شامل فرآیندهایی نظیر انتقال ذرات و اندامکها در

---

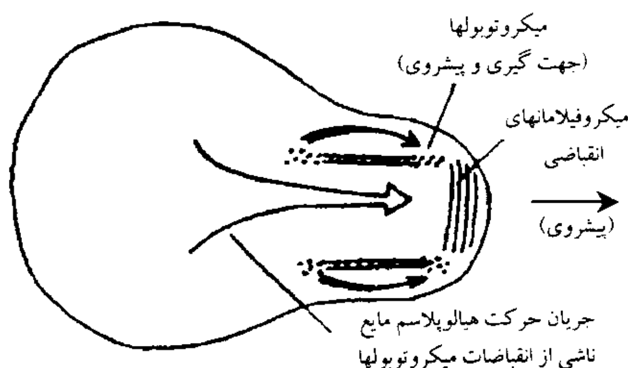
1 – Dynamic
2 - Kinetics
3 - Kinematics
4 - Statics

جهات مختلف درون سلول، جریان پروتوپلاسمی، میتوز و تقسیم سلول، تورم و انقباض ارگانلها و آندوسیتوز ... می باشد.

فاکتور مشترک در تمام این موارد، منبع انرژی می باشد. که انرژی آزاد، از هیدرولیز ATP به ADP و فسفر معدنی به دست می آید.

حرکت در موجودات زنده (اشکال حرکت)

حرکات آمیبی شکل - بعضی از موجودات فقط از یک سلول تشکیل شده اند، مانند آمیبها و باکتریها. حرکت آمیبها در اثر جریان داخل سلولی پروتوپلاسمی صورت می گیرد. برای این کار زایده ای از سلول آمیب در جهت حرکت آن برجسته می شود و پروتوپلاست به آهستگی به درون این زایده جریان می یابد تا تمام سلول در یک موقعیت جدید قرار بگیرد. زایده را پای کاذب و این حرکت را حرکت آمیبی می نامند.

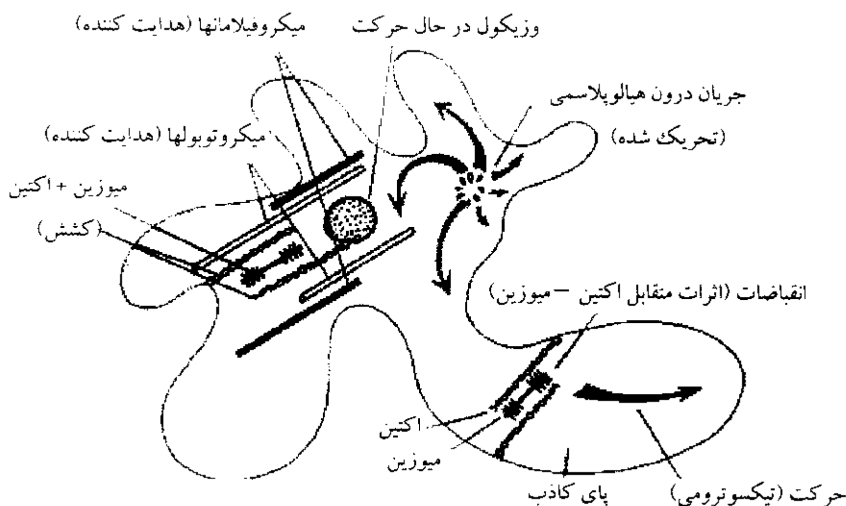


شکل ۱-۱۰ حرکت آمیبی شکل

حرکات آمیبی شکلی که انواع مختلف سلولها (سلولهای جنینی، سلولهای محیط کشت و لوکوسیتها و...) انجام می دهند، نتیجهٔ مجموعهٔ فعالیت مشترک میکروفیلامانها و میکروتوبولهاست. در این مورد پدیده های زیر را می توان به صورت طرح ساده توضیح داد.

ـ شبکه ای شدن منومرهای اکتین باعث ژله ای شدن موضعی هیالوپلاسم و در نتیجه ایجاد نقاط اتکای مکانیکی برای جابجایی‌های سلول می شود. اکتین هنگام خارج شدن از حالت شبکه ای که آن نیز موضعی است، باعث افزایش سیالیت هیالوپلاسم می گردد.

ـ رشته های اکتین، که بر روی پروتئینهای غشاء پلاسمایی استوار می باشند و با رشته‌های میوزین همراهند باعث انقباضات سلولی می شوند. سیتوپلاسم مایع، که به وسیله عناصر سیتواسکلت(میکروتوبولها) هدایت می شود، جریان می یابد و پای کاذب را تشکیل می‌دهد که به سوبسترا می چسبد. تغییرات بعدی چسبندگی هیالوپلاسمی ادامه حرکت را ممکن می سازد.



شکل ۲-۱۰ حرکت یاخته ای

حرکات مژکی و تاژکی

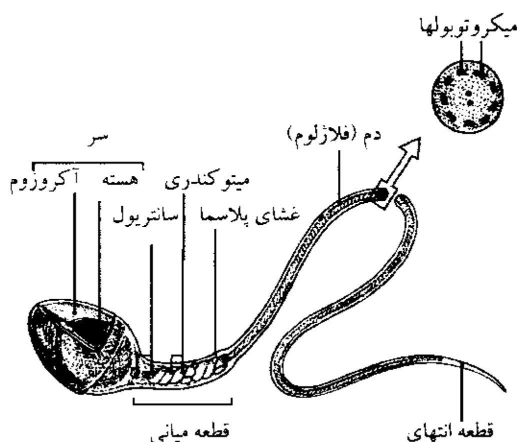
در بعضی از موجودات اندامی به نام مژک یا تاژک، یک اندام اختصاصی برای حرکت می باشد که ساختمان آنها در موجودات مختلف متفاوت است. در باکتریهای تاژه‌دار، تاژه‌ها به غشای سیتوپلاسمی چسبیده و از دیوارهٔ سلولی بیرون می آیند. این زایده ها به حدی ظریفند که با میکروسکوپ نوری دیده نمی شوند و قطر آنها ۱۰ تا ۲۰ نانومتر ولی طول آنها بیشتر و به ۱۵ تا ۲۰ میکرون می رسد. تاژه‌ها سلول باکتری را با سرعتی برابر ۵۰ میکرون در ثانیه که تقریباً ۲۰ برابر طول سلول است به جلو می‌رانند که سرعتی نسبتاً بالا است. ساختمان مژک و تاژک در موجودات پروکاریوتی مثل باکتری از سه قسمت تشکیل شده است. بخشی که با رنگ آمیزی دیده می شود رشته[1] نام دارد و منحصراً از الیاف پروتئینی خاص ترکیب یافته که تعداد این الیاف از ۶ ـ ۳ متغیر است. دومین بخش، قلاب آستین مانندی است که در دیواره سلولی وارد شده و رشته را به پیکر پایه متصل می‌سازد. قلاب[2] مارپیچی است که احتمالاً دارای الیاف در هم بافته پروتئینی می باشد. بخش سوم پیکر پایه[3] نام دارد که ترکیب شیمیایی آن هنوز شناخته نشده است. ولی در ساختمان آن حداقل ده پروتئین با وزن مولکولی بین ۹۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ شناسایی شده است.

مژکها با ضربان خود (۵۰۰ تا ۱۳۰۰ بار در دقیقه) باعث جابجایی یک سلول آزاد در محیطش می شوند یا در صورت ثابت بودن سلول، باعث جابجایی مایعات پیرامون سلول و یا ذرات اطراف آن می گردند. (مانند سلولهای بافت پوششی تنفسی، سلولهای عقبی شیپور رحم یا زهدان). تاژک با حرکات موجی خود حرکت سلول را تأمین می کند (اسپرماتوزوئیدها). حرکات مژکها

---

1 - Filament
2 - Hook
3 - Basal body

و تاژکها با سرخوردن دو تایی‌ها نسبت به یکدیگر صورت می گیرد. این پدیده همانند انقباض تارچه‌های ماهیچه ای است که در آن بازوهای دینئین با عمل ATP آزی در اینجا نقش «سرهای» میوزین را ایفا می کند.



شکل ۳-۱۰ حرکت تاژکی اسپرم

عوامل مؤثر بر حرکت ماهیچه ها

بافت ماهیچه ای از سلولهای تمایز یافته و حاوی پروتئینهای منقبض شونده، تشکیل شده است. خواص زیستی ساختمان این پروتئینها نیروهایی ایجاد می کند که برای انقباض سلولی به آنها نیاز است. این انقباض باعث ایجاد حرکت در داخل بعضی از اندامها و نیز حرکت کل بدن می‌شود. بدن انسان از نظر اسکلت طوری طراحی شده است که برای تولید سرعت و دامنهٔ حرکت بیشتر بسیار مناسب است. اکثر عضله ها در بدن انسان طوری قرار گرفته اند تا بتوانند نیروی بیشتری تولید کنند. تارهای عضلانی ممکن است در داخل بخشهای

عضلانی به طور موازی و در جهت طول عضله قرار گرفته باشند. این تارها عموماً ضعیف هستند لیکن به مقدار زیاد خاصیت کوتاه شوندگی دارند. از این رو سرعت انقباضات در آنها زیاد است. تارهای عضلانی ممکن است در داخل بخشهای عضلانی به طور مورب به طرف تاندون مرکزی کشیده شده باشند و در این صورت به شکل پر در می آیند. این تارهای عضلانی مورب و پر مانند عموماً قویتر از تارهای عضلانی موازی هستند ولی خاصیت کوتاه شوندگی آنها کم است. از این رو نیرو و قدرت بیشتری تولید می کنند. لازم به ذکر است که تارهای عضلانی موازی، سرعت انقباض خود را به ازای از دست دادن قدرت، کسب می کنند. در حالی که تارهای عضلانی پر مانند نیرو و قدرت بیشتر خود را به ازای از دست دادن سرعت انقباض عضلانی کسب می کند. از این جهت با تولید نیروی زیاد در حرکاتی از قبیل پریدن سریع دویدن و بالا رفتن شرکت دارند.

انقباض

انقباض بر دو نوع است، انقباض ایزوتونیک و انقباض ایزومتریک. اگر انقباض در عضله همراه با کوتاه شدن طولش باشد از نوع ایزتونیک (انقباض پویا) می باشد. در این حال کار و حرکت انجام می شود. زمانی که انقباض با کوتاه شدن طول عضله همراه باشد، نیروی کششی عضله سبب جابجایی جسم می‌شود. معمولاً به نیرویی که به عضله وارد می‌شود نیروی بار و به نیرویی که عضله به جسم وارد می‌کند نیروی کششی می‌گویند. اگر نیروی کششی با نیروی بار برابر و یا از آن بیشتر باشد در این صورت با ر جابجا نمی‌شود و ممکن است انقباض

به شکل ایزومتریک تبدیل شود. اما اگر نیروی کششی بر نیروی بار غلبه نماید، انقباض از نوع ایزوتونیک بوده و بار جابجا می‌شود .

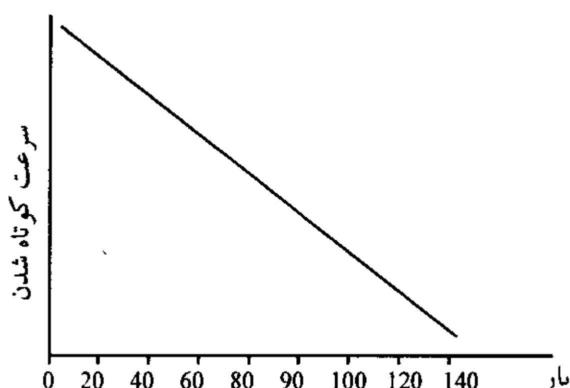
نکتهٔ اصلی در انقباضهای عضلانی کوتاه شونده این است که عضله هایی که در اثر انقباض طول آنها کم می شود و مقاومتی را از زمین دور کرده اند با حفظ انقباضهای خود تدریجاً اجازه می دهند تا مقاومت (وزن بدن و غیره) به طرف زمین برده شود.

در صورتی که انقباض در عضله رخ داده و طول آن کوتاه نگردد، انقباض ایزومتریک (انقباض ایستا) می باشد و در این حالت کار انجام می شود اما حرکت صورت نمی‌گیرد.

هنگامی که عضله ای در حالت انقباض طولش افزایش یابد نوع انقباض را طویل شونده گویند. به عبارت دیگر هدف اصلی این نوع انقباضها این است که بدن و یا قسمتی از آن را که به وسیله نیروی کششی مرکز ثقل زمین به طرف آن کشیده می‌شود کنترل نموده و آن را به آرامی و آهسته پایین بیاورد.

رابطه سرعت کوتاه شدن عضله با باری که جابجا می شود

هر قدر باری که عضله جابجا می‌کند سنگینتر باشد سرعت کوتاه شدن عضله کمتر است و هر چقدر بار کمتر باشد عضله سریعتر کوتاه می شود. بنابراین بیشترین سرعت کوتاه شدن عضله هنگامی است که هیچ باری جابجا نشود.



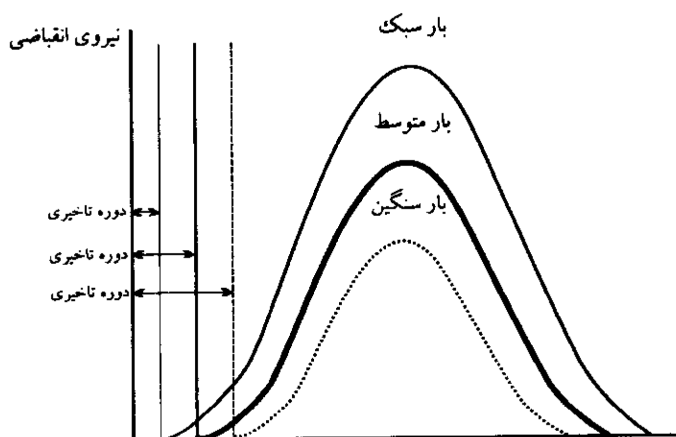
شکل ۴-۱۰

رابطه تولید نیروی انقباضی عضله با بار جابجا شده و دوره تأخیری مربوطه

۱ ـ وقتی باری که توسط عضله جابجا می شود، سبک باشد عضله نیروی انقباضی بزرگتری دارد. اما دوره تأخیری آن کوتاه است.

۲ ـ اگر بار جابجا شده از وزن متوسطی برخوردار باشد. نیروی انقباضی کوچکتر، منحنی دامنه کوتاهتر و دورهٔ تأخیر طولانی تری دارد.

۳ ـ اگر بار جابجا شده از وزن سنگینی برخوردار باشد در این حالت نیروی انقباضی کمتر و دورهٔ تأخیری از دو حالت فوق طولانی تر است اما منحنی انقباض کوچکتر خواهد بود.



شکل ۵-۱۰

رابطهٔ طول عضله با نیروی انقباض

اگر عضله ای قبل از تحریک و انقباض کوتاه شده باشد در موقع تحریک نیرویی که بین دو انتهای آن تولید می شود، کمتر از حد طبیعی خواهد بود. از طرف دیگر اگر عضله ای قبل از انقباض تحت کشش قرار بگیرد باز هم نیروی انقباض کمتر از حد طبیعی خواهد بود حداکثر نیروی انقباض هنگامی ایجاد می گردد که عضله تقریباً طول طبیعی خود را داشته باشد و کوتاهی یا کشش قبلی عضله انقباض آن را مشکل تر می کند.

رابطهٔ سرعت انقباض با بار وارده بر عضله

انقباض یک عضله بدون بار یا وزنه ممکن است خیلی سریع صورت گیرد و سرعت انقباض ممکن است حتی به ده برابر طول عضله در ثانیه برسد. اما با افزودن وزنه های مختلف بر عضله سرعت انقباض تدریجاً کمتر می گردد و وقتی میزان وزنه با حداکثر نیروی انقباض ایزومتریک عضله برابر گردد، سرعت انقباض به صفر می رسد و در نتیجه انقباضی صورت نخواهد گرفت.

همانطورکه دیده می شود سرعت انقباض با افزایش وزنه تدریجاً کمتر می شود.کاهش سرعت انقباض عضله در اثر افزایش وزنه را می توان تا حدی به علت ویسکوزیته رشته های عضلانی دانست. اما به نظر می رسد که این اثر بیشتر مربوط به میزان انرژیی می باشد که می تواند از آدنوزین تری فسفات آزاد شده و به مصرف عناصر انقباضی عضله برسد. به این معنی که عضله برای تغییر مکان وزنه کاری انجام می دهد که برای انجام آن باید مقدار انرژی لازم را به دست بیاورد. چون عضله فقط می تواند با سرعت معینی از ATP انرژی آزاد کند. لذا هر قدر مقدار

وزنه زیادتر باشد سرعت حرکت کند تر خواهد بود. ولی با این حال عضله مقدار انرژی لازم را دریافت خواهد کرد.

تطابق طول عضله نسبت به طول دستگاه اهرمی (انقباض فیزیکی)

اگر استخوانی پس از شکستن طوری جوش بخورد که طول آن کوتاه شود مسلماً نیروی انقباض عضلاتی که در طول این استخوان قرار گرفته اند به علت کوتاه شدن طول این عضلات، کاهش می یابد.

اما در عضلاتی که به این ترتیب کوتاه شده‌اند در عرض چند هفته تغییراتی پدیدار می شود که انقباض فیزیکی نامیده می شود. به این معنی که رشته های عضلانی حقیقتاً کوتاه شده و در نتیجه عضله طول جدیدی که تقریباً برابر حداکثر طول دستگاه اهرمی آن می باشد پیدا می کند بدین ترتیب مجدداً حداکثر نیرو در هنگام انقباض عضلات، ایجاد می گردد. همین حالت کوتاه شدن در عضلاتی که برای چندین هفته در حالت کوتاه شده (در موقع ماندن عضو در داخل گچ) بی حرکت می ماند ایجاد می گردد. بعد از برداشتن گچ غالباً عضلات پس از به کار افتادن کامل مجدداً دراز می شوند.

اهرمها

استخوانها مانند اهرمهایی هستند که روی محور یا نقطهٔ چرخش مفاصل می‌توانند حرکات خود را اعمال نمایند.

اهرم میله سختی است که به دور محور ثابتی به نام نقطه اتکا (F) حرکت می کند. میله می‌تواند صاف یا خمیده باشد. اهرم عملیاتی، علاوه بر نقطه اتکا، دو نیروی محرک و مقاوم نیز دارد.

اگر از اصطکاک صرفه نظر شود، قانون ماشینها یعنی $Ed_e = Rd_r$ برای تمام اهرمها صادق است. فاصله نیروی محرک تا نقطه اتکا را (d_e) بازوی محرک و فاصله نیروی مقاوم تا نقطه اتکا را (d_r) بازوی مقاوم می گویند. با استفاده از این اصطلاحات، کاربرد قانون ماشینها را در مورد اهرم به صورت زیر می توان مجدداً بیان کرد.

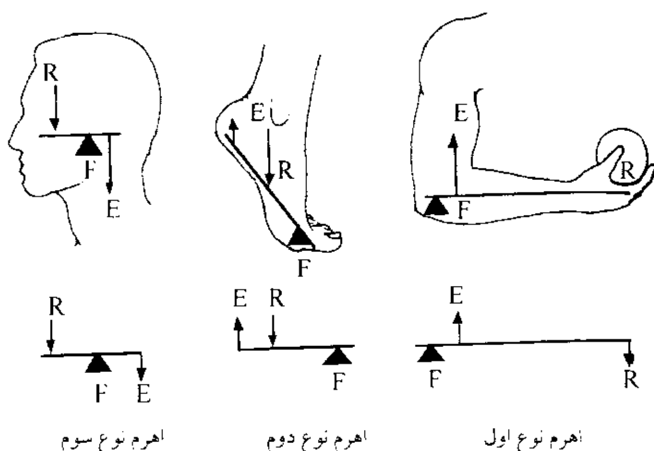
نیروی محرک × بازوی محرک = نیروی مقاوم × بازوی مقاوم

اهرمها را می توان بر حسب محل نسبی سه مولفه نقطهٔ اتکا، نیروی محرک و نیروی مقاوم رده‌بندی کرد.

اهرم نوع اول اهرمی است که نقطهٔ اتکا آن بین دو نقطه نیرو ومقاوم قرار گرفته باشد. بسیاری از ماهیچه ها طوری در نقاط مختلف بدن قرار گرفته اند که مانند نیروی محرک اهرم عمل می کنند. در بدن انسان، ماهیچه سه سر بازو هنگامی که بدون کمک سایر ماهیچه‌ها عمل می کند نمونهٔ اهرم ردهٔ اول است. این ماهیچه به جای نیروی محرک، مفصل آرنج به جای نقطهٔ اتکا و جسمی که درست حمل می شود به جای نیروی مقاوم عمل می کنند. هنگامی که الیاف ماهیچه سه سر بازو منقبض می شوند ساعد کشیده می شود و جسم پایین می آید.

اهرم نوع دوم اهرمی است که نقطهٔ مقاوم آن بین دونقطهٔ نیرو ـ اتکا قرار گرفته باشد. برخی معتقدند هنگامی که شخص بر روی پنجهٔ پا می ایستد، کنش ماهیچه دوقلو نمونه ای از اهرم رده دوم است. در این حالت بالشتک پا به منزلهٔ نقطهٔ اتکا، الیاف ماهیچه دوقلو نیروی محرک و وزن بدن که به سمت پایین بر مفصل درشت نی و استخوانهای قوزک وارد می شود به منزلهٔ نیروی مقاوم است. مسأله مورد بحث این است که محل واقعی نیروی مقاوم که در این حالت وزن بدن است در کجا قرار دارد.

اهرم نوع سوم اهرمی است که نقطهٔ نیروی آن بین دو نقطهٔ مقاوم و اتکا قرار گرفته باشد. در بدن کنش ماهیچه دوسر بازویی هنگامی که به تنهایی عمل می کند، مانند کنش اهرم ردهٔ سوم است. مفصل آرنج، نقطهٔ اتکا، ماهیچه دوسر بازویی نیروی محرک و جسمی که در دست نگه داشته می شود نیروی مقاوم است. هنگامی که الیاف ماهیچه دو سر بازویی، منقبض می شود جسم بالا می رود.



شکل ۶- ۱۰

عوامل مکانیکی معینی باعث کاهش و یا افزایش اثر دستگاههای اهرمی می گردند. اهرمهای مختلف ممکن است موجبات کاهش و یا افزایش عوامل مکانیکی از قبیل نیرو، سرعت حرکت و دامنه حرکت را فراهم نمایند. کاهش میزان یکی از این سه عامل با افزایش اثر یک و یا دو عامل باقی مانده همراه است. کلیه مطالب فوق با یکی از اساسی‌ترین قوانین فیزیکی اصل بقای انرژی مطابقت دارد. در این اصل آمده است که انرژی نه خلق می شود و نه از بین می رود لیکن ممکن است شکل آن عوض شود. به عبارتی دیگر انرژی بی زوال و پابرجاست.

حرکت موقعی به وقوع می پیوند که تعادل اهرمها مختل شود. طبق قانون اهرمها هر گاه مقدار نیرو ضربدر بازوی کارگر مساوی نیروی مقاوم ضربدر بازوی مقاوم باشد، آن اهرم در حال تعادل باقی می ماند. موقعی که اهرم در حال تعادل است حرکتی به وقوع نمی پیوندد. بنابراین برای ایجاد حرکت در اهرم باید تعادل آن را به سود نیروی مقاوم مختل نمود.

نیروی حاصل از انقباض عضلات (نیرو) و یا مقاوم (وزن شیئی) می توانند در اهرمهای بدن انسان حرکت ایجاد کنند. این حرکت روی مفاصل یا مفصل مربوطه انجام می شود و مفاصل به عنوان محورهای حرکت انجام وظیفه می کنند.

مفاصل

بدن انسان به طور ساده از قطعات مختلف و متصل به هم تشکیل شده است که محل پیوستگی آنها را مفصل می گویند. مفاصل بدن انسان به دو گروه مختلف بی حرکت، نیمه متحرک و متحرک طبقه بندی می شود.

در بدن انسان فقط سه حرکت تاکردن، کشیدن و چرخیدن رخ می دهد که اینها با یکدیگر ترکیب و نتیجتاً به توسعه مهارتهای بنیادی مانند دویدن، راه رفتن،پریدن، پرتاب کردن و ضربه زدن می انجامد.

پاره ای از عواملی که در پایداری مفاصل بدن انسان به حساب می آیند عبارتند از حمایت رباطها، مقدار برخورد و تماس بین استخوانهای شرکت کننده در مفصل و همچنین تعداد و نیروی حاصل از عضله هایی که بر روی مفصل و یا در اطراف آن کشیده شده اند. هر چه

عوامل یاد شده فوق، افزایش یابد به همان نسبت پایداری مفصل زیادتر می شود. لیکن درجه آزادی حرکت مفصل کاهش می یابد. بر عکس هر چه عوامل فوق کاهش یابد به همان نسبت پایداری مفصل کمتر می شود و بر عکس درجهٔ آزادی حرکت مفصل افزایش می یابد.

مفاصل متحرك دارای ساختمان به خصوصی هستند که به آنها اجازه حرکت سریع در دامنه های وسیع را می دهد. در این نوع مفاصل، سطوح مفصلی استخوان از لایه های غضروفی به نام غضروفهای مفصلی تشکیل شده است به طوری که این سطوح اجازه نمی دهند استخوانها در اثر اصطکاك فرسوده شوند.

استخوانها به وسیله رباطها به یکدیگر متصل می شوند و یك کیسهٔ مفصلی که دور تا دور استخوانهای مفصل را احاطه کرده است، باعث می شود تا سطوح مفصلی کاملاً به هم نزدیك باشد. بخش داخلی این رباط کیسه ای به وسیله غشایی پوشیده شده است که با ترشحات خود، درون مفصل را نرم و لغزنده می کند. اصطکاك ممکن است در اثر چسبندگی یك سطح با سطح دیگر و یا در اثر درگیری ناهمواریهای دو سطح که مقابل یکدیگر قرار دارند تولید شود. هنگامی که دو استخوان برروی یکدیگر مالیده می شوند ناهمواریها با هم درگیر می‌شوند و برای اینکه این بر آمدگیهای نا منظم به حرکت در آیند کار باید انجام شود. هنگامی که اثر اصطکاك، تخریبی است باید به حداقل رسانده شود. در بدن انسان غضروفهای مفصلی نیز این کار را انجام می دهند و مانع ساییدگی دو استخوان می شود.

منابع :

۱. آناتومی کاربردی مفاصل اندام بالایی و پایینی، تألیف؛ دکتر محمد تقی جغتایی، مؤسسه نشر علمی فرهنگی پژوهشگران، ۱۳۷۱.

۲. آناتومی و فیزیولوژی برای پرستاران، تألیف؛ شیلا جکسون- ترجمه؛ مرتضی دلاورخوان- پروانه بیشه بان، انتشارات ارجمند، تهران، ۱۳۷۴.

۳. اسپکترو فتومتری تجزیه ای، تألیف؛ دکتر محمد ادریسی – مهندس بهرام ناصر نژاد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ۱۳۷۱.

۴. اشعه ایکس، تألیف، ب. ل. دوریس، ر. جنکینز.

۵. اصول شیمی و بیوشیمی ، تألیف ؛ دکتر بیژن فرزامی، انتشارات چهر، ۱۳۶۳.

۶. اصول مورفولوژی و فیزیولوژی حشرات ، تألیف دکتر ابراهیم باقری زنور.

۷. الکترون و موارد استعمال آن در وضعیت الکترونیک، تألیف؛ گرانیه، ژان ماری هانری- ترجمه؛ مرتضی صابر، انتشارات تهران، ۱۳۴۷.

۸ الکتروفورز پروتئین در ژل ، تألیف ؛ علی مصطفایی.

۹. الکترومغناطیس، تألیف؛ ی. س. گرانت و و. فیلیپس – ترجمه؛ احمد کیاست پور، احمد پرورش، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۱.

۱۰. بافت شناسی پایه، تألیف ژانکوئیرا – ترجمه؛ دکتر علی صادقی، دکتر مسعود عسگری، تحت نظارت دکتر رخشان، موسسه انتشارات دانشگاه پزشکی ایران، ۱۳۷۷.

۱۱. بلور شناسی تألیف؛ دکترحسین عاشوری، جهاد دانشگاهی اصفهان، ۱۳۶۵.

۱۲. بیوشیمی، تألیف هارپر و هرولد آنتونی– ترجمه؛ دکتر حمید رضا کریم زاده، دکتر علیرضا رفتاری، دکتر مهدی ابطحی زیر نظر دکتر ملک نیا و دکتر پرویزشهبازی، انتشارات شهر آب، تهران، ۱۳۷۳.

۱۳. بیو شیمی –فیزیک، تألیف؛ دکتر بیژن فرزامی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۳۷۲.

۱۴. بیو شیمی عمومی ، تألیف ؛ دکتر ملک نیا و دکتر شهبازی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۰.

۱۵. بیولوژی سلولی و مولکولی، تألیف؛ دکتر رسول صالحی، انتشارات مانی اصفهان، ۱۳۷۸.

۱۶. جانوران چگونه می بینند، می شنوند و حس می کنند، تألیف؛ ویتوس. ب. دروشر– ترجمه؛ بهروز بیضایی، انتشارات قدیانی، چاپ دهم، ۱۳۸۱.
۱۷. زیست شناسی، تألیف؛ کلود – لوئی گالین – ترجمه دکتر بهروز شاهسون بهبودی ، خیر النساء محرر خمامی، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۲.
۱۸. زیست شناسی سلولی و مولکولی، تألیف؛ دکتر کاظم پریور، انتشارات جهاد دانشگاهی تهران، ۱۳۷۲.
۱۹. زیست شناسی سلولی و مولکولی، تألیف؛ دکتر سید علی حسینی تهرانی، انتشارات اورست تهران، ۱۳۷۷.
۲۰. زیست شناسی سلولی و مولکولی ، تألیف ؛ مریم خلوصی، موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران، چاپ اول، ۱۳۷۸.
۲۱. زیست شناسی سلولی و مولکولی ، تألیف ؛ دکتر احمد مجد و دکتر سید محمد علی شریعتی زاده، انتشارات دانشگاه اراک، ۱۳۷۸.
۲۲. زیست شناسی مقدماتی، تألیف؛ د. جی. مک کین – ترجمه ؛ محمد علی شمیم، دفتر امور کمک آموزشی و کتابخانه ها، تهران، ۱۳۶۸.
۲۳. رابطه آب و خاک ، تألیف ؛ دکتر امین علیزاده، دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد، ۱۳۷۸.
۲۴. روشهای آزمایشگاهی در بیوشیمی ، تألیف ؛ جایارامن – ترجمه زهرا اوسطی آشتیانی، انتشارات بخش فرهنگی دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی، ۱۳۶۹
۲۵. شیمی آلی ، تألیف ؛ موریسون و بویر – ترجمه ؛ محمد رحیمی زاده ، مجید هروی ، مهدی بکاولی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۶۷.
۲۶. شیمی آلی اساس زیست ، تألیف ؛ دکتر محمد رضا سعیدی، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۵.
۲۷. شیمی حیات ، تألیف ؛ استون رز – ترجمه ؛ مصطفی مفیدی، انتشارات تهران، ۱۳۶۶.
۲۸. شیمی عمومی ، تألیف ؛ دکتر تقی کوثر نشان، انتشارات بهارستان تهران، ۱۳۶۸.
۲۹. شیمی - فیزیک ، تألیف ؛ گ ۰ م ۰ بارو – ترجمه ؛ مسعود حسن پور ، قاسم خدادی ، غفار متدین اول مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۱۳۶۴.

۳۰. شیمی فیزیک ماکرومولکولهای حیاتی، تألیف؛ علی اکبر موسوی موحدی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۴.

۳۱. فیزیک پزشکی تألیف دکتر عباس تکاور، انتشارات نوپردازان، ۱۳۷۸.

۳۲. فیزیولوژی پزشکی ، تألیف ؛ پروفسور آرتور گایتون، پروفسور جان هال– ترجمه ؛ فرخ شادان، انتشارات چهر، ۱۳۷۸.

۳۳. فیزیک برای علوم زیستی ، تألیف ؛ آلن اچ کرومر – ترجمه ؛ دکتر محمود بهار، انتشارات مبتکران، چاپ پنجم، ۱۳۷۸

۳۴. فیزیک برای رشته های فنی ، تألیف ؛ فردریک بیویکی – ترجمه محمد ابراهیم ابوکاظمی، مرکز دانشگاهی، ۱۳۷۰.

۳۵. فیزیک پرستاری ، تألیف ؛ دکتر عباس تکاور،انتشارات تهران، ۱۳۷۲.

۳۶. فیزیک در پرستاری ، تألیف ؛ هسل هوارد فلیتر – ترجمه ؛ پروین عزالدینی زنجانی ، جهانشاه میرزابیگی، مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۱۳۶۷.

۳۷. فیزیک کاربردی و دستگاه های آزمایشگاهی تشخیص طبی، تألیف تقی گرجی- انتشارات جهاد دانشگاهی.

۳۸. فیزیک و کاربردهای آن در علوم تندرستی ، تألیف ؛ پل پیتر اورون – ترجمه ؛ جلال الدین پاشائی راد ، هوشنگ سپهری ، بهرام معلمی ، جهانشاه میرزابیگی، مرکز نشر دانشگاهی تهران ،۱۳۷۲.

۳۹. فیزیولوژی گیاهی تغذیه و متابولیسم ، تألیف؛ پل مازلیاک – ترجمه؛ حسن حکمت شعار، انتشارات دانشگاه تبریز، ۱۳۶۳.

۴۰. کلیات فیزیک پزشکی و بیوفیزیک، تألیف؛ دکتر ابوالفضل رسولی ، دکتر غلام حسین رهبری، انتشارات چهر تهران، ۱۳۶۸.

۴۱. مبانی بیوفیزیک، تألیف؛ دکتر محمدرضا حسین دخت، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۹.

۴۲. مبانی فیزیکی رادیولوژی ، تألیف ؛ گودوین ، کوایمبی ، مورگان – ترجمه ؛ دکتر غلام حسین رهبری ، دکتر آراسته آژیر، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۱.

۴۳. مفاهیم در حرکت شناسی ، تألیف ؛ دکتر ریچارد گراوز – ترجمه ؛ مهدی نمازی زاده، کمیته ملی المپیک جمهوری اسلامی ایران، تهران، ۱۳۶۳.

۴۴. مفاهیم نور هندسی ، تألیف ؛ فرید شهریاری، مؤسسه علمی آینده سازان، ۱۳۷۱.

۴۵. مهندسی صدا و ارتعاش ، تألیف ؛ رستم گلمحمدی، انتشارات دانشجو، همدان. ۱۳۷۸.

۴۶. میکروبیولوژی عمومی ، تألیف ؛ دکتر فریدون ملک زاده ، دکتر منوچهر شهامت، انتشارات عقیق، ۱۳۷۷.

۴۷. میکروسکوپ الکترونی و هیستوتکنیک در میکروسکوپی الکترونی و نوری ، تألیف ؛ دکتر سید محمد علی شریعت زاده ، دکتر احمد مجد، انتشارات آییژ ، تهران، ۱۳۷۹.

48. MEDICAL PHYSICS , PHYSICS . OF THE BODY 1992
JOHN R . CAMERON , University of Wisconsin – Madison
JAMES G. SKOFRONICK , Florida State University – Tallahassee
RODERICKM . GRANT, Dennison University , Granville , ohio.

49. RADIATION BIOPHYSICS 1990
Edward L. Alpen . professor of Biophysics university of California . Berkeley and professor of Radiology university of California school of Medicine San Francisco.

ISBN : 964-94554-5-0

